

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia Aeroespacial

**Investigação do resfriamento de paredes
metálicas por vapor para aplicações
aeroespaciais**

Autor: Gabriel Augusto Silva
Orientador: Prof. Domenico Simone

Brasília, DF
2018



Gabriel Augusto Silva

Investigação do resfriamento de paredes metálicas por vapor para aplicações aeroespaciais

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Aeroespacial da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Aeroespacial.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Domenico Simone

Coorientador: Prof. Artur Elias de Moraes Bertoldi

Brasília, DF

2018

Gabriel Augusto Silva

Investigação do resfriamento de paredes metálicas por vapor para aplicações
aeroespaciais/ Gabriel Augusto Silva. – Brasília, DF, 2018-
102 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Domenico Simone

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2018.

1. Superfícies Metálicas. 2. Resfriamento. I. Prof. Domenico Simone. II. Uni-
versidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Investigação do resfriamento
de paredes metálicas por vapor para aplicações aeroespaciais

CDU 02:141:005.6

Gabriel Augusto Silva

Investigação do resfriamento de paredes metálicas por vapor para aplicações aeroespaciais

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Aeroespacial da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Aeroespacial.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 07 de Dezembro de 2018:

Prof. Domenico Simone
Orientador

Prof. Artur Elias de Moraes Bertoldi
Coorientador

Prof. Olexiy Shynkarenko
Convidado

Brasília, DF
2018

*Esse trabalho é dedicado às pessoas que visam absorver conhecimento a respeito de
Cooling Systems envolvendo Spray Multifásicos.*

Agradecimentos

Agradeço à Deus pela oportunidade que me foi concedida de cursar engenharia e por todas as providências que me permitiram chegar até aqui. À minha família que sempre esteve ao meu lado me dando forças e condições para continuar os meus estudos, em especial aos meus pais, a quem devo tudo que sou e que são o meu exemplo, toda a minha gratidão.

Às pessoas especiais que pude conhecer na faculdade, pessoas pela qual tenho um carinho muito grande e que quero levar comigo para o resto da minha vida, por todos os momentos bons que tivemos juntos e pelos que virão.

Agradeço em especial, a minha namorada, Lívia Sant'Anna Alves, sem você na minha vida eu não seria nada e com certeza você foi fundamental em todos os aspectos para que esse trabalho fosse concluído. Eu te amo muito, obrigado por me estar ao meu lado nos momentos bons e ruins sempre me dando a calma que eu precisava pra superar todas as dificuldades.

Agradeço também aos professores que transmitiram tão bem os conhecimentos e auxiliaram na minha formação. Agradeço, em especial, ao meu orientador Domenico por ter sido sempre tão paciente, pela dedicação e por ter me orientado tão bem.

O homem é a medida de todas as coisas. Protágoras.

Resumo

Existe atualmente na Universidade de Brasília (UnB), um grupo de professores que começaram atividades em 2013, o Chemical Propulsion Laboratory, com o intuito de consolidar atividades em Propulsão de Foguetes e Motores a Jato, dentre eles um trabalho foi desenvolvido na área de resfriamento de sistemas envolvendo Sprays Multifásico. O problema do resfriamento de superfícies quentes vem se tornando de interesse de diferentes ramos da indústria, logo, tendo o seu estudo não só no campo acadêmico, mas também para aplicações tecnológicas. escoamentos multifásicos e transferência de calor têm sido amplamente estabelecidos em quase todos os aspectos dos campos da ciência e da engenharia, tais como: engenharia mecânica, química, petroquímica, engenharia nuclear, engenharia de materiais, engenharia de minas, eletrônica, microeletrônica, ciências biomédicas, engenharia espacial, entre outras. Com o rápido desenvolvimento de várias tecnologias relevantes, a pesquisa de escoamentos multifásicos e transferência de calor vêm crescendo muito rapidamente. Portanto, esse trabalho propõe um estudo científico baseado em metodologia analítica e experimental da aplicação de spray multifásico para o arrefecimento de superfícies metálicas planas aquecidas. As técnicas numérico-experimentais aqui utilizadas não só impactam nas aplicações para indústria aeroespacial, que vem se desenvolvendo no país, mas também podem ser aplicadas em várias áreas, como, por exemplo, na indústria alimentícia e eletrônica, cujos desafios envolvem o armazenamento e dissipação de energia térmica.

Palavras-chaves: Superfícies Metálicas. Spray Multifásico. Resfriamento. Transferência de Calor.

Abstract

There is currently a group of professors at the University of Brasília (UnB) who created the Chemical Propulsion Laboratory in order to develop and analyze several Engineering-related projects including one of cooling systems involving steam. As a result, the problem of cooling hot surfaces has become of interest to different branches of the industry, therefore, having studied not only in the academic field, but also for technological applications. Multiphase flows and heat transfer have been widely established in almost every aspect of the fields of science and engineering such as: mechanical engineering, chemistry, petrochemical, nuclear engineering, materials engineering, mining engineering, electronics, microelectronics, biomedical sciences, space engineering, among others. With the rapid development of several relevant technologies researches on multiphase flows and heat transfer have been growing very rapidly. Therefore, this work proposes a scientific study based on analytical and experimental methodology of the application of multiphase spray for the cooling of heated flat metallic surfaces. The numerical-experimental techniques used here not only impact the applications for the aerospace industry, which has been developed in the country, but can also be applied in several areas, such as in the food and electronics industry, whose challenges involve storage and dissipation of thermal energy.

Key-words: Metallic Surfaces. Multifasic Spray. Cooling, Heat Transfer

Lista de ilustrações

Figura 1 – Esquema demonstrando um resfriamento utilizando vapor	31
Figura 2 – Gráfico HTC x T _{surface}	34
Figura 3 – Tipos de Injetores	35
Figura 4 – Uso de Spray em sistema de arrefecimento	38
Figura 5 – Atomizadores	39
Figura 6 – Demonstração da Quebra Primária e Secundária	41
Figura 7 – <i>Chip</i> do microcontrolador PIC16F628A. Esta pastilha comporta um microprocessador com instruções RISC e periféricos internos de memória, osciladores, USART, entre outros.	42
Figura 8 – Descrição da arquitetura do microcontrolador PIC16F628A, onde estão apontadas as funções correspondentes a cada pino. Pode-se observar que um mesmo pino pode ser utilizado para mais de uma função. . . .	43
Figura 9 – Etapas da conversão A/D, onde $x(t)$ é o sinal analógico; $x[n]$ é o sinal discretizado no tempo, após o processo de amostragem; $q[n]$ é o sinal quantizado; e ao final do processo de codificação, aparecem os bits correspondentes ao sinal analógico $x(t)$	45
Figura 10 – Os pinos 2 e 3 se referem à transmissão e recepção de dados, respectivamente, no conector DB25. Já no conector DB9, o pino 2 tem a função de recepção, enquanto o pino 3, a função de transmissão. Os outros pinos são para aterramento e controle de fluxo de dados.	47
Figura 11 – Sensor de temperatura NTC 3950 de 100k Ω . Possui estabilidade de 1%, ou seja, garante que a variação da características de resistência em relação à temperatura, ao decorrer do tempo, não ultrapassará 0,1°C. Além disso, este termistor pode identificar uma faixa de temperatura de -40°C a 300°C.	50
Figura 12 – Experimento realizado a fim de relacionar a mudança de temperatura à sua respectiva resistência, e assim adquirir uma curva que expressa o comportamento entre essas duas variáveis.	51
Figura 13 – Divisor de tensão utilizado para adquirir as medidas de tensão referentes à variação de resistência. Por meio do conector J1, o sensor é alimentado com 5V, e as medidas de tensão são obtidas por meio do conector J2. O resistor de 27k Ω foi escolhido de maneira que o divisor de tensão apresentasse uma tensão máxima de aproximadamente 3,5V, através da Equação 4.3.5.	52

Figura 14 – Diagrama dos pinos do multiplexador analógico de quatro canais HEF4052B, onde os pinos 1, 2, 4 e 5 se referem às entradas de leitura dos sensores de temperatura, enquanto o pino 3 se refere à saída conectada ao PIC16F628A.	53
Figura 15 – Módulo comparador com entradas multiplexadas. A entrada utilizada é a RA0, que está conectada à saída do multiplexador HEF4052. Desta forma, V_{IN-} receberá o valor de tensão analógica proveniente de cada sensor, enquanto V_{IN+} apresentará o valor definido pelo Módulo de Referência de Voltagem (VRCON)	54
Figura 16 – Diagrama de blocos do módulo de referência de voltagem. Este módulo apresenta 16 estágios, ou seja, por meio do V_{DD} escolhido, o valor obtido através de cada estágio é enviado como valor de referência para o processo de comparação descrito anteriormente. Cada estágio habilita os bits VR3 a VR0 do registrador VRCON. Esta será a saída digital referente a cada entrada analógica.	54
Figura 17 – Planilha e gráfico de comparação das informações obtidas por seis sensores em um mesmo instante de tempo, a fim de evidenciar a distribuição de temperaturas em partes distintas da placa.	56
Figura 18 – Disposição dos sensores de temperatura em contato com a superfície da placa, a fim de capturar as informações de tensões correspondentes às temperaturas.	57
Figura 19 – Esquema da Bancada Experimental	58
Figura 20 – Esquema do Esqueleto da estrutura	58
Figura 21 – Visão lateral da estrutura	59
Figura 22 – Estrutura finalizada pronta para os testes	60
Figura 23 – Malha da Simulação realizada no ANSYS	63
Figura 24 – Detalhes da Malha	63
Figura 25 – Perfil de temperaturas	64
Figura 26 – Gráfico HTC x Posição	64
Figura 27 – Esquema no ANSYS do perfil da temperatura do fluido e da superfície resfriada	65
Figura 28 – Diagrama esquemático do circuito acionamento do resfriamento. A área delimitada pela linha amarela corresponde aos sensores de temperatura utilizados para o acionamento; a área em azul, ao microcontrolador PIC16F628A; em verde, encontra-se o multiplexador; em marrom, está o módulo de transmissão serial; em laranja, o módulo de acionamento do relé; e por fim, em violeta, encontra-se o módulo de acionamento dos <i>coolers</i>	66

Figura 29 – Diagrama esquemático do circuito de monitoramento das temperaturas. A área delimitada pela linha preta corresponde aos sensores de temperatura utilizados para o monitoramento; a área em vermelho representam as entradas analógicas do Arduino, responsáveis por receber as tensões relativas à cada temperatura.	67
Figura 30 – Curva característica do sensor de temperatura NTC 3950 de 100k Ω . Os testes foram realizados com temperaturas entre 35°C a 84°C. Esta curva indica que a tensão identificada pelo divisor da Figura 13 aumenta proporcionalmente à temperatura.	68
Figura 31 – Demonstração do gráfico com as temperaturas observadas em cada um dos sensores.	69
Figura 32 – Demonstração do gráfico com as temperaturas observadas em cada um dos sensores para o arrefecimento somente com o vento do Cooler . . .	71
Figura 33 – Demonstração do gráfico com as temperaturas observadas em cada um dos sensores	72
Figura 34 – Demonstração do gráfico com as temperaturas observadas em cada um dos sensores	74
Figura 35 – Monitor serial do software utilizado para visualizar a transmissão de dados. Do lado direito, é possível observar os dados enviados no formato hexadecimal, conforme é indicado no código. Do lado esquerdo, encontra-se o carácter referente à tabela ASCII.	76
Figura 36 – Medição por Comparação	86
Figura 37 – Medição Diferencial	87
Figura 38 – Comparação entre os métodos de medição	87
Figura 39 – Módulos Funcionais de um sistema de medição	88
Figura 40 – Termopar	88
Figura 41 – Dispositivo Mostrador	89

Lista de tabelas

Tabela 1	– Saída do multiplexador HEF4052B, de acordo com o nível lógico das portas de seleção A0 e A1, por exemplo, quando A0=0 e A1=0, a saída apresentará o valor presente na entrada Y_{0B} . O mesmo acontece para as outras combinações de A0 e A1	53
Tabela 2	– Representação binária para um conversor AD de 4 bits, onde cada valor de referência corresponde a uma representação.	55
Tabela 3	– Condições iniciais do fluxo de água	61
Tabela 4	– Tabela com os valores de tensão correspondentes a temperatura observado em cada um dos sensores no modelo sem sistema de arrefecimento.	70
Tabela 5	– Tabela com os valores de tensão correspondentes a temperatura observado em cada um dos sensores no modelo com apenas vento como forma de arrefecimento.. . . .	71
Tabela 6	– Tabela com os valores de tensão correspondentes a temperatura observado em cada um dos sensores - fluxo de massa 0,01 mL/s.	73
Tabela 7	– Tabela com os valores de tensão correspondentes a temperatura observado em cada um dos sensores - fluxo de massa 0,1 mL/s.	74

Lista de abreviaturas e siglas

AEB	Agência Espacial Brasileira
UnB	Universidade de Brasília
APP	Aerospace Propulsion Products
CEA	Chemical Equilibrium with Applications
HFO	Óleo de Combustível Pesado
HTC	Coeficientes de Tansferência de Calor
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IAE	Instituto de Aeronáutica e Espaço
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica.
LCP	Laboratório Associado de Combustão e Propulsão
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NI	National Instruments
PNAE	Programa Espacial Brasileiro
SARA	Satélite de Reentrada Atmosférica
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TRL	Technology Readiness Level.

Lista de símbolos

α	Letra grega Alpha
δ	Letra grega Delta
$\frac{\partial}{\partial x}$	Derivada parcial em relação a x
\in	Pertence
Γ	Letra grega Gama
Λ	Lambda
μ	Letra grega Mi
ν	Letra grega Nu
θ	Letra grega Theta
ρ	Letra grega Rho
π	Letra grega Pi
ζ	Letra grega minúscula Zeta

Sumário

1	INTRODUÇÃO	27
2	REFERENCIAL TEÓRICO	31
2.1	Efeito Leidenfrost	34
2.2	Tipos de Injetores	35
2.2.1	Injetores de Combustível Refrigerados	35
2.2.2	Injetores de Combustível Não-Refrigerados	36
2.3	Atomização e Sprays	37
2.3.1	Introdução sobre Atomização	37
2.3.2	Atomizadores	38
2.3.3	Quebra Primária e Quebra Secundária	40
2.4	Eletrônica	41
2.4.1	Microcontrolador PIC16F628A	41
2.4.1.1	Características	41
2.4.1.2	Arquitetura	42
2.4.1.3	Registradores	43
2.4.2	Conversor Analógico Digital	44
2.4.3	Comunicação Serial	45
2.4.3.1	Comunicação RS-232	46
3	METODOLOGIA	49
3.1	Simulação <i>ANSYS/FLUENT</i>	49
3.2	Construção da Bancada Experimental	50
3.2.1	Desenvolvimento do projeto eletrônico	50
3.2.1.1	Caracterização dos sensores	50
3.2.1.2	Caracterização do termistor NTC 3950	50
3.2.1.3	Caracterização do multiplexador HEF4052B	52
3.2.1.4	Caracterização do conversor Analógico-Digital (AD)	53
3.2.1.5	Acionamento do sistema de resfriamento	55
3.2.1.6	Funcionamento do sistema de inspeção de temperatura	55
3.2.2	Projeto no CATIA	57
3.2.3	Desenvolvimento da Bancada	57
3.2.4	Descrição do Experimento	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
4.1	Simulação	63

4.2	Esquemático do circuito de monitoramento	65
4.3	Resultados Experimentais	68
4.3.1	Levantamento da relação Tensão x Temperatura	68
4.3.2	Resfriamento Sem Sistema de Arrefecimento	69
4.3.3	Resfriamento Utilizando apenas vento do Cooler	70
4.3.4	Resfriamento com Vaporizador - Fluxo de Massa de 0,01 mL/s	72
4.3.5	Resfriamento com Vaporizador - Fluxo de Massa de 0,1 mL/s	73
4.3.6	Transmissão Serial	75
5	CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS	79
	ANEXOS	83
	ANEXO A – FUNDAMENTOS DA METROLOGIA CIENTÍFICA	85
	ANEXO B – PROGRAMAÇÃO NA PLATAFORMA ARDUINO	91
	ANEXO C – PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR PIC16F628A	93

1 Introdução

Para o desenvolvimento de diversos campos da engenharia, a necessidade de estudar os escoamentos multifásicos e a transferência de calor entre superfícies metálicas planas aquecidas e um vapor tem se tornado essencial. A justificativa do trabalho baseia-se no fato que, os processos de resfriamento de superfícies quentes por filmes líquidos têm sido usados em muitas aplicações industriais.

No Brasil, a Universidade de Brasília (UnB) desenvolve pesquisa na área de propulsão de foguetes desde os anos 2000. Atualmente, o Grupo de Propulsão Química do curso de Engenharia Aeroespacial projetou e iniciou o período de testes do modelo de engenharia de um motor capaz de efetuar a indução de reentrada da plataforma SARA, IAE-Brasil, que é uma demanda tecnológica relevante para programa espacial brasileiro (PNAE) através do programa Uniespaço da Agência Espacial Brasileira (AEB). O grupo também desenvolve projetos preliminares para motores, baseado em propulsão química, para diferentes aplicações, como estágios superiores de veículos lançadores.

Segundo (KAMRA et al., 2018), algumas dessas aplicações requerem resfriamento rápido de altas temperaturas, tais como o resfriamento de chapas de espessuras médias, tiras metálicas nas usinas de laminação a quente, tempero de vidros na indústria automobilística, resfriamento de chips eletrônicos na indústria de manufatura de computadores e processo de arrefecimento de superfícies quentes na indústria de motores de foguetes. Projetos de sistemas com alto fluxo de calor são necessários para manter a baixa temperatura de operação que aumenta a confiabilidade de componentes e podem resultar no aumento do rendimento do sistema em que é aplicado.

Além disso, escoamentos multifásicos e transferência de calor têm sido amplamente estabelecidos em quase todos os aspectos dos campos da ciência e da engenharia, tais como: engenharia mecânica, química, petroquímica, engenharia nuclear, engenharia de materiais, engenharia de minas, eletrônica, microeletrônica, ciências biomédicas, engenharia espacial, entre outras. Com o rápido desenvolvimento de várias tecnologias relevantes, a pesquisa de escoamentos multifásicos e transferência de calor vêm crescendo muito rapidamente na atualidade. As raízes desse problema, ou seja, os objetos de pesquisa, estão centrados nas áreas dos materiais envolvidos e no transporte de calor.

A tecnologia de resfriamento através de filmes líquidos de duas fases é uma opção para o arrefecimento das partes susceptíveis a falha devido à alta temperatura em motores de foguete líquido e híbrido, tal como câmara de combustão e a tubeira, principalmente a sessão crítica e a parte divergente do bocal (WARKENTIN; ROWLEY, 2017).

A questão motivadora do trabalho baseia-se em verificar se a utilização de spray

multifásico no resfriamento de superfícies metálicas seria a melhor alternativa para o funcionamento dos componentes na indústria aeroespacial. O objetivo principal do trabalho é implementar e avaliar as metodologias numéricas e experimentais sobre o uso de spray multifásico no resfriamento de superfícies metálicas de modo a analisar a sua eficiência e robustez para uso na indústria aeroespacial.

Os objetivos específicos são:

- Realizar simulações no ANSYS analisando o comportamento esperado para o resfriamento da placa metálica;
- Qualificação do banco de testes e de seus componentes;
- Realizar programação na linguagem Assembly de rotina para acionamento do cooler com auxílio de um Microcontrolador;
- Implementar sistema eletrônico de acionamento autônomo de um sistema de arrefecimento a partir de condições pré-determinadas;
- Avaliar quais sensores foram utilizados para acionamento do cooler;
- Obter gráficos demonstrando a variação de temperaturas em cada um dos sensores;
- Estudo de perfis de temperatura em placa plana;
- Estudo do efeito da variação do fluxo de massa de vapor d'água no resfriamento;
- Comparar os resultados obtidos nas simulações e nos experimentos

Assim, para atingir esses objetivos o trabalho está dividido em duas partes, onde na parte inicial do trabalho, se pretende estudar e compreender todo o comportamento e teoria envolvida no resfriamento de superfícies utilizando spray multifásico, além disso, busca-se realizar simulações, simplificadas e preliminares, no ANSYS para obter os perfis de temperatura tanto na superfície da placa quanto no líquido utilizado para o resfriamento. Já na parte final, temos o objetivo de realizar testes de bancada em experimento, analisando e comparando com os resultados obtidos na simulação e na teoria.

Neste contexto, a metodologia desse trabalho é focada em uma abordagem numérico-experimental para o estudo de filmes líquidos multifásicos para resfriamento de superfícies metálicas. Serão realizadas simulações utilizando o software *ANSYS/FLUENT*, além de projetos de bancada experimental com sistema simulando arrefecimento utilizando vapor d'água como agente de arrefecimento através do acionamento de um sistema, de forma autônoma. A superfície a ser resfriada será composta de uma chapa plana de aço. A escolha desse material baseia-se no fato de que as partes críticas a serem refrigeradas nos

motores de foguete híbrido e líquido são manufaturadas com esse material, tais como: câmara de combustão e bocal de exaustão dos gases ([SACHDEV et al., 2010](#)).

Este trabalho está estruturado em 5 capítulos os quais serão, a seguir, descritos:

O **Capítulo 1** contém a parte introdutória onde estão descritos a motivação, justificativa, objetivos gerais e específicos.

O **Capítulo 2** contém o referencial teórico onde apresenta os fundamentos do uso de Spray Multifásico para resfriamento de sistemas nos mais diversos ramos da Engenharia, bem como revisão bibliográfica sobre as questões referentes à parte Eletrônica do projeto.

O **Capítulo 3** é direcionado à Metodologia do projeto, demonstrando todos os procedimentos realizados para se chegar aos resultados obtidos, no caso, as simulações no ANSYS/Fluent bem como os procedimentos adotados para desenvolvimento da bancada experimental.

O **Capítulo 4**, dos Resultados, descreve uma análise de todas as simulações realizadas no ANSYS/Fluent, onde foram analisados os comportamentos dos perfis de temperatura na placa e no líquido. Além disso, todos os resultados observados durante a realização dos testes experimentais estão retratados nessa parte, realizando-se ainda uma comparação entre os resultados obtidos na parte experimental com os encontrados na parte teórica.

O **Capítulo 5** ilustra as principais conclusões do trabalho, as contribuições e sugestões para trabalhos futuros a partir dos resultados alcançados.

2 Referencial Teórico

Escoamentos multifásicos podem ser definidos como escoamentos simultâneos de diferentes fluidos, com diferentes fases (gasosa ou líquida) ou mesmo escoamentos de fluidos e sólidos, como mostrado na Figura 1. As diferentes fases podem ser da mesma substância pura, como um líquido e seu vapor, ou de diferentes substâncias, como um líquido e um gás ou dois líquidos ou qualquer combinação de líquido, gás e sólido (RODRIGUEZ, 2017).

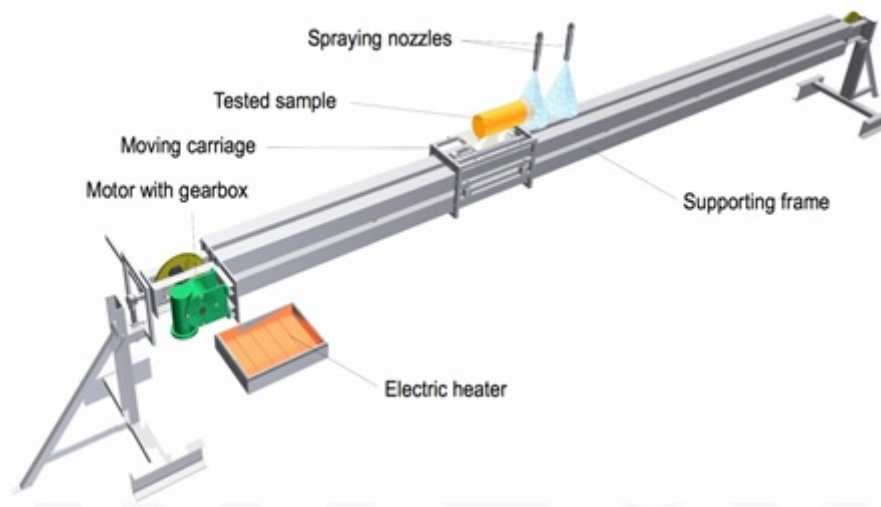


Figura 1 – Esquema demonstrando um resfriamento utilizando vapor. Fonte: (YANG; CLARK, 2005).

Com o passar do tempo, os avanços em fluidodinâmica computacional têm fornecido uma base para uma visão mais aprofundada da dinâmica dos fluxos multifásicos. Normalmente se tem duas aproximações para o cálculo de fluxos multifásicos: a aproximação Euler-Lagrange e a aproximação Euler-Euler. Na aproximação Euler-Euler, as diferentes fases são tratadas matematicamente como contínuas e possuem uma interface, assumindo-se que as formam uma interpenetração contínua. Já na aproximação Euler-Lagrange, a fase fluida é tratada como um contínuo sendo resolvido pelas equações de Navier-Stokes baseadas na média de tempo, enquanto que a fase dispersa é resolvida traçando um largo número de partículas, bolhas ou gotas através do campo de escoamento. Sendo que a fase dispersa pode trocar momento, massa e energia com a fase fluida. Uma suposição fundamental feita para este modelo é que a fase dispersa ocupa uma baixa fração volumétrica do escoamento, mesmo se a vazão mássica da partícula for maior que a do fluido. Esta suposição faz com que este modelo seja o apropriado para a modelagem de spray dryers, combustão de carvão e líquidos combustíveis, e alguns outros tipos de fluxos

particulados. Por este motivo, neste trabalho utilizou-se a aproximação Euler-Lagrange para a modelagem do escoamento dentro da câmara do Spray dryer (ISSA, 2009).

O uso de resfriamento utilizando vapor tem sido utilizado fortemente na indústria eletrônica, como em produção de tiras finas, têmpera de vidros e resfriamento de chips eletrônicos prometendo ser um dos métodos mais eficientes devido ao aumento da área de contato entre as gotículas de água e a superfície aquecida. Além disso, promove a uniformidade no resfriamento melhorando as propriedades dos materiais, um controle da planicidade dos produtos finais e uma redução nos custos pois este otimiza o consumo de água e reduz os gastos com a reutilização e filtração da água (ISSA, 2009).

Walczyk, como outros autores, estuda os efeitos da utilização de vapor de água na troca térmica. O escopo do autor em seu trabalho é verificar a influência de se operar com correntes de ar e de vapor de água em contracorrente, a fim de se analisar se há melhor troca térmica comparativamente ao caso em que o ar e o vapor de água circulam em concorrente. Os experimentos mostraram que, na situação estudada, o fator de aumento de troca térmica pode chegar até 125%, mostrando que o sentido de circulação de cada um dos componentes da corrente fria influencia na troca térmica. Em seus cálculos, utilizou o coeficiente efetivo de troca térmica para fase gasosa e este se mostrou adequado, pois os valores experimentais obtidos para o trabalho térmico estão bastante condizentes com os valores teóricos obtidos. Esses cálculos são válidos para contracorrentes de ar com até 10% em massa de água. O experimento também mostrou que o tipo de vapor influencia pouco na troca térmica (WALCZYK, 2013).

Yang e Clark, estudaram os efeitos da utilização de vapor juntamente com o ar na troca térmica, em três tipos de radiadores automotivos, a fim de verificar a possibilidade de se fazer uso do ciclo de potência de Rankine em motores de automóveis, já que, operando-se nessa condição, reduzem-se muito as emissões de poluentes, mas, em contrapartida, produz-se até 10 vezes mais calor. Isso demanda uma maior eficiência de troca térmica no radiador, que não pode ser conseguida com o aumento da área de troca térmica no radiador, motivando a busca por métodos alternativos mais eficazes (YANG; CLARK, 2005).

Ao se utilizar uma vazão entre 3,62 e 7,70 kg/h de líquido, obteve-se aumentos significativos da troca térmica desses radiadores testados em túneis de vento. Ao mesmo tempo em que se obteve esse aumento no coeficiente de troca térmica, nota-se que as perdas por atrito não sofreram alteração da mesma forma que aconteceria caso houvesse aumento na área de troca. Obteve-se, para número de Reynolds de até 1000 (regime laminar), aumento de até 40% no coeficiente global de troca. Já no regime turbulento, esse aumento do coeficiente global diminuiu e chegou até a 12%. Não se observaram alterações de troca térmica decorrentes da utilização de água ou de etileno glicol. Isso evidencia que a evaporação do vapor não desempenha papel significativo na troca térmica

para essa aplicação específica, já que, por mais que a temperatura de ebulição do etileno glicol (197°C) seja consideravelmente maior que a da água (100°C), o coeficiente é quase o mesmo para essas duas substâncias. Sendo assim, concluiu-se que a grande parcela de responsabilidade pela troca térmica está ligada a formação de um filme líquido na superfície, o que promove aumento da convecção forçada. Essa melhoria é proporcional ao aumento da área coberta pelo filme líquido.

([TREE et al., 2008](#)), examinaram o desempenho de troca de calor em trocadores compostos por tubos com aletas, através dos quais se faz passar uma corrente fria composta por vapor, em diferentes condições de vazão mássica de água e de diâmetros das gotículas. A velocidade do ar da corrente fria utilizada estava entre 0,8 e 2,3 m/s. Os diâmetros de partículas usados foram de 64,444 e 3300 μm . A vazão mássica de água foi de 10,8; 21,6 e 32,4 kg/h. O trocador de calor possuía dimensões de 0,3048 x 0,3048 m, quatro fileiras de tubos de cobre de diâmetro 0,0091 m e 476 aletas de alumínio por metro, com espessura de 0,00015m cada uma.

Com a execução dos procedimentos experimentais ficou evidente que, enquanto a vazão mássica de água desempenhou um papel importante na elevação do coeficiente de troca térmica, o diâmetro das gotículas pulverizadas pouco influenciou no desempenho do trocador de calor. Segundo o autor, a principal explicação para a elevação do desempenho de troca térmica nesses estudos com utilização de spray de água é justamente a evaporação das gotículas. Caso todo o spray que entra no trocador fosse evaporado (vazões mássicas de até 54 kg/h), a carga térmica trocada poderia ser estimada pela multiplicação da massa de água pelo calor latente de evaporação da água, com uma precisão de até 10%. Trabalhando-se com qualquer diâmetro na faixa estipulada (64 a 3300 μm), numa vazão mássica de 32,4 kg/h e com área de troca de 0,305 m², obteve-se aumento na troca térmica de até 40% em relação ao regime sem spray de água.

Por fim, outro estudo realizado por ([OSHIMA, 2012](#)), verifica o efeito da utilização de spray de água juntamente com ar em trocadores de calor aletados. Os pesquisadores trabalharam com um trocador de calor com seis fileiras de tubos verticais por dentro dos quais se fez passar água quente e por fora uma corrente de ar concorrente com três sprays de água originários de orifícios na frente do trocador. Os tubos eram feitos de cobre e possuíam diâmetro de 9,45 e as aletas eram espiraladas. O trocador possuía 700 mm de altura, 600 mm de largura e 350 mm de comprimento. Ele continha 51 tubos aletados arranjados hexagonalmente com espaçamento de 50 mm. As condições experimentais estavam na faixa de 2000 a 12000 kg/m. O coeficiente aparente de troca térmica no lado de fora dos tubos oscilou entre 93 e 418 W.m, dependendo da vazão mássica da água no spray. Após a realização dos experimentos, os autores concluíram que a transferência de calor foi muito maior no trocador que operava com spray de água, do que naquele em que só havia ar.

2.1 Efeito Leidenfrost

Segundo Alvarez, trata-se de essencial necessidade do entendimento de que a intensidade do resfriamento depende fortemente da temperatura da superfície (ALVAREZ; ALVAREZ; HERNÁNDEZ, 2014). O chamado efeito Leidenfrost, pode ser observado acima de determinada temperatura, onde durante este efeito, um líquido, que está próximo de um objeto significativamente mais quente que o ponto de ebulição do líquido, produz camada de vapor que isola o líquido do objeto quente e impede esse líquido de ferver rapidamente. Isto deve-se ao fato de que a temperaturas acima do ponto de Leidenfrost, a parte da água que está perto da superfície quente, vaporiza imediatamente no contato com a placa quente e o gás gerado mantém o resto da água líquida, impedindo qualquer outro contato direto entre o líquido e a placa quente. A temperatura a que o efeito Leidenfrost começa a ocorrer não é fácil de ser prevista, devido ao fato de depender de muitos aspectos. Uma delas é a velocidade e o tamanho das gotículas. Como uma estimativa aproximada, o ponto de Leidenfrost pode ocorrer para temperaturas bastante baixas, como 200°C. Por outro lado, para uma velocidade de água elevada, o ponto de Leidenfrost pode estar acima de 1000 °C.

A Figura 2 mostra os coeficientes de transferência de calor medidos (HTC) para o bico de névoa água-ar. O gráfico mostra três medidas para o mesmo bico usando parâmetros variáveis de água e ar. Três regimes podem ser encontrados. O primeiro é para temperaturas baixas quando o HTC é relativamente alto e diminui lentamente. Esta parte está abaixo do ponto de Leidenfrost. A partir de uma certa temperatura, o HTC diminui rapidamente, este é um regime transitório no qual algumas gotas estão acima do ponto de Leidenfrost e algumas estão abaixo desse ponto. Para o último regime, HTC é relativamente baixo e é constante ou pode estar aumentando devido ao aumento da radiação com a crescente temperatura da superfície. A seção de refrigeração projetada deve funcionar no primeiro regime para temperaturas baixas ou no terceiro regime com HTC quase constante. É altamente recomendável evitar o segundo regime transitório, uma vez que a temperatura da superfície do produto não é geralmente a uma temperatura uniforme. Devido à forte dependência de HTC na temperatura da superfície, o arrefecimento não homogêneo é alcançado e causa distorção do produto.

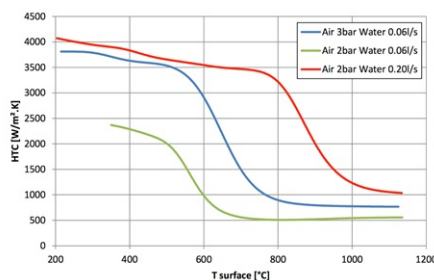


Figura 2 – Gráfico HTC x T_{surface} (TREE et al., 2008)

2.2 Tipos de Injetores

Um aspecto muito importante em um sistema de pulverização é o injetor (ou atomizador) que distribui o líquido e/ou gás para o bico de pulverização. Os injetores também devem atender normas precisas para garantir um ótimo desempenho.

Os injetores, ainda, são frequentemente vistos como um meio para um fim - um simples cano ou dispositivo de distribuição de líquido.

Considerações importantes sobre projeto e fabricação podem ser negligenciadas, resultando em problemas de desempenho e caras ineficiências. A Figura 3, demonstra alguns tipos de injetores para pulverização utilizados atualmente

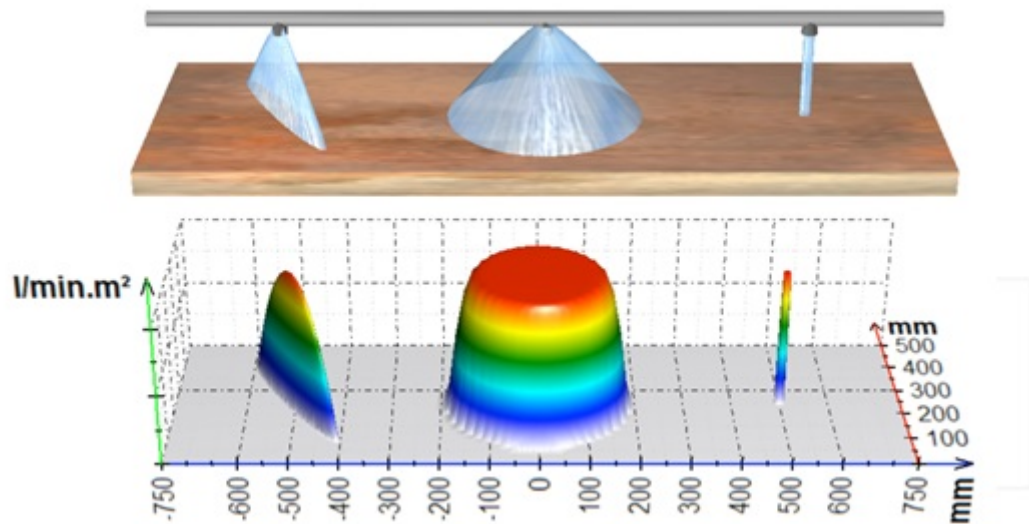


Figura 3 – Tipos de Injetores (BERGMAN et al., 2011)

2.2.1 Injetores de Combustível Refrigerados

Segundo (AMON et al., 2015), os injetores de combustível que são resfriados pela recirculação são o tipo mais frequente nos motores diesel modernos. Parte do motivo da popularidade dos injetores de combustível refrigerados é que eles são extremamente eficientes, particularmente quando emparelhados com sistemas comuns de abastecimento de combustível e sistemas de gerenciamento de motores.

O injetor refrigerado moderno não possui nenhuma das passagens de água de resfriamento típicas para manter sua baixa temperatura. Portanto, só é capaz de manter uma temperatura fria através da circulação do HFO, heavy fuel oil, e a água de refrigeração da cabeça do cilindro enquanto ele passa perto do bolso do injetor. A cabeça do cilindro é feita de modo que tenha espaço para várias perfurações de água na área do bolso do injetor que ajudem a arrefecer o corpo do injetor.

Circular HFO e a cabeça do cilindro trabalham para manter o injetor fresco sem

o auxílio de um sistema de refrigeração de válvula de combustível externo. A energia que é economizada ao não exigir o uso de um sistema externo melhora a eficiência geral, especialmente a do motor.

Os injetores de combustível refrigerados são compostos de um corpo de aço e um bico. O corpo abriga a mola e uma haste de atuação, enquanto o bico contém a válvula de agulha, bem como os orifícios do assento e do atomizador. Existe uma câmara superior que recebe um fornecimento constante de HFO quando a câmara da bomba de combustível está na parte inferior do curso. Este é o estágio no qual o combustível na câmara é recirculado. Quando a câmara volta ao topo do seu curso, a pressão aumentada da bomba de combustível ativa uma válvula de alívio, que fornece combustível de alta pressão da câmara superior para a câmara inferior. Este combustível levanta a válvula de agulha e insere combustível atomizado através dos orifícios dos bicos nas câmaras de combustão (RODRIGUEZ, 2017).

2.2.2 Injetores de Combustível Não-Refrigerados

Os injetores de combustível diesel não-arrefecidos hidráulicos são tipicamente encontrados em motores marinhos a diesel de dois tempos maiores. Esses injetores de combustível são referidos como uncool porque é o próprio combustível, e não o injetor de combustível, que fornece o efeito de resfriamento.

Os injetores de combustível não arrefecidos são todos projetados de forma muito similar, independentemente do tipo de mecanismo em que estão. Eles possuem uma válvula de agulha que é carregada por mola e operada hidraulicamente para liberar combustível a alta pressão através de um bocal de atomização. Estes injetores de combustível têm duas câmaras – a câmara superior e inferior. A câmara superior é carregada com óleo combustível da bomba de combustível, que é selada pela válvula de agulha. A câmara inferior tem vários orifícios de atomização pequenos de um tamanho específico e é selada pelo assento da winglet da válvula da agulha. Esta câmara é responsável por distribuir o combustível para a câmara de combustão (BOCARD¹; TRIBOLI,).

A válvula abre quando a compressão da mola é superada pela pressão da bomba de combustível. Quando a válvula da agulha se levanta, o óleo pode então fluir para a câmara inferior. A agulha se levanta rapidamente e permite que o combustível de alta pressão perca os orifícios do atomizador para a câmara de combustão. À medida que a pressão é reduzida, a compressão da mola faz com que a válvula feche. Tão confiável quanto esses injetores de combustível normalmente são, de tempos em tempos, como com qualquer coisa, problemas podem surgir. Aqui estão alguns dos problemas que são vistos mais frequentemente, bem como soluções sobre como melhor lidar com eles. O cabo da válvula deve funcionar de forma rápida e positiva sem vazamento de óleo. Existem alguns lugares que você pode inspecionar para garantir que não haja vazamento e que o

movimento rápido seja mantido (BOCARD¹; TRIBOLI,).

Uma válvula de agulha com vazamento é um problema comum em um sistema de injeção de combustível. Uma válvula de agulha defeituosa ou danificada pode levar a uma série de problemas. Um problema é uma temperatura de exaustão excessivamente alta, que pode ser um risco de incêndio. O combustível não queimado causado por uma agulha de vazamento pode levar a uma formação de carbono. Outra dificuldade comum devido a uma agulha com vazamento é a diminuição da eficiência da combustão. Uma agulha vazando pode levar a muitos prejuízos e, na pior das hipóteses, pode ser completamente perigoso. Felizmente, se devidamente testado e mantido, as probabilidades desses problemas que se aproximam são mínimas (BERNARDIN; STEBBINS; MUDAWAR, 2017).

2.3 Atomização e Sprays

2.3.1 Introdução sobre Atomização

A transformação de líquidos em sprays ou outras dispersões físicas de partículas pequenas em atmosferas gasosas é de grande importância em vários processos industriais e também em muitas outras aplicações na agricultura, meteorologia e medicina. Numerosos dispositivos para esse fim têm sido desenvolvidos e são geralmente denominados atomizadores, nebulizadores, injetores e bocais (“nozzles”). O processo de atomização é aquele no qual um jato líquido ou uma folha de líquido ou ainda um filme líquido é desintegrado pela energia cinética do próprio líquido ou pela exposição a uma corrente de ar ou gás de alta velocidade ou ainda como resultado de energia mecânica externa aplicada através de dispositivos rotativos ou vibratórios. Devido à natureza aleatória do processo de atomização o spray resultante é usualmente caracterizado por um largo espectro de tamanhos de gotas (SCHWARZKOPF et al., 2011).

Atomizadores naturais compreendem aqueles produzidos em quedas d’água, chuvas e sprays oceânicos. No lar, sprays são produzidos por chuveiros, irrigadores de jardim, sprays para cabelos e sprays desodorantes. São comumente usados na atomização de químicos para proteção de colheitas, atomização de tintas para pintura, sprays para secagem de sólidos úmidos, processamento de alimentos, resfriamentos de núcleos de plantas nucleares, aplicações de transferência de massa em interfaces gás-líquido, dispersão de combustíveis líquidos para combustão e muitas outras aplicações.

Segundo (DEEN; SOLBERG; HJERTAGER, 2001), a combustão de combustíveis líquidos em motores diesel, motores a ignição por centelha, turbinas a gás, motores foguete e fornalhas industriais são dependentes de uma atomização bastante efetiva para aumentar a área superficial específica do combustível e atingir altas taxas de mistura e evaporação. Na maioria dos sistemas de combustão, a redução do diâmetro médio da gota leva a

altas taxas volumétricas de liberação de calor, à facilidade de acendimento e a uma larga faixa de queima, e baixa concentração na emissão de poluentes. Em outras aplicações, entretanto, tais como a aspersão de colheitas, gotas pequenas devem ser evitadas porque sua velocidade de queda livre é pequena e sob certas condições meteorológicas de vento podem ser levadas para longe deixando de serem aproveitadas para a aspersão. As gotas são também importantes em secagem por sprays e devem ser produzidas de forma bem controlada para atingirem as condições desejadas de transferência de calor e massa, como mostra a Figura 4.

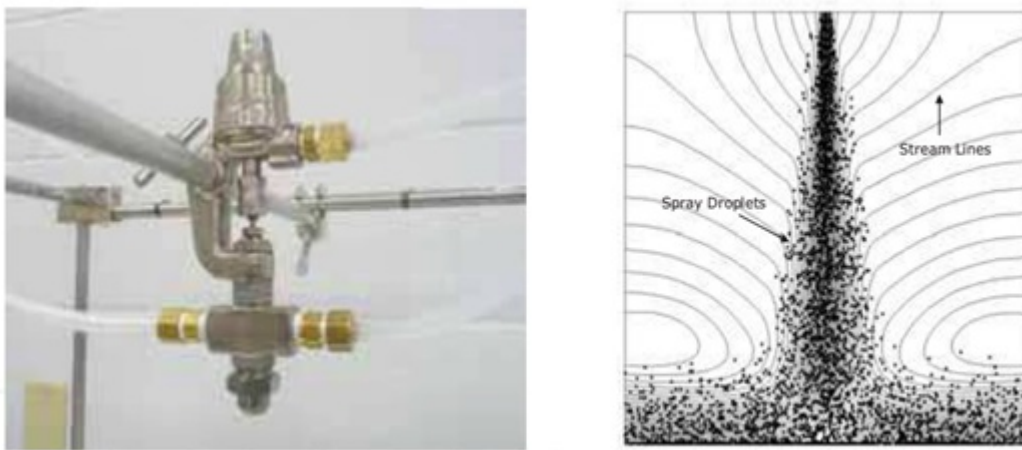


Figura 4 – Uso de Spray em sistema de arrefecimento (BERGMAN et al., 2011)

Nas ultimas décadas houve um crescente interesse na ciência e tecnologia da atomização, o que deu origem a um grande campo internacional e interdisciplinar de pesquisa. O crescimento do interesse foi acompanhado por um largo avanço na área de diagnóstico a laser para a análise de sprays e pela proliferação de modelos matemáticos para modelagem da combustão de sprays. É cada vez mais importante que os engenheiros adquiram uma melhor compreensão dos processos básicos de atomização e que estejam inteirados da capacidade e limitação dos dispositivos de atomização. Em particular é importante conhecer qual o tipo de atomizador é o mais indicado para uma dada aplicação e como sua performance é afetada pela variação das propriedades do líquido e condições de operação.

2.3.2 Atomizadores

Sprays podem ser produzidos de vários modos. Essencialmente o que se precisa é de uma alta velocidade relativa entre o líquido a ser atomizado e o ar ou gás circundante. Alguns atomizadores fazem isso descarregando o líquido a alta velocidade em uma corrente de ar ou gás movendo-se lentamente, isto inclui vários tipos de atomizadores: como os sob pressão (pressure atomizers) e também atomizadores do tipo, copo ou disco rotativo, como o exemplo mostrado na Figura 5.



Figura 5 – Atomizadores (BERGMAN et al., 2011)

Associado a isso, existem vários processos básicos associados com todos os métodos de atomização, tais como a hidráulica do escoamento dentro do atomizador, a qual governa as propriedades de turbulência da corrente de líquido emergindo do mesmo. O desenvolvimento do jato ou folha e o crescimento de pequenas perturbações, que levam eventualmente à desintegração em ligamentos e então em gotas, são também de primária importância na determinação do formato e penetração do spray resultante bem como de suas características de densidade, velocidade das gotas e função distribuição de tamanho das gotas como função do tempo e do espaço. Todas essas características são marcadamente funções da geometria interna do atomizador, das propriedades do meio gasoso no qual a corrente líquida é descarregada e das propriedades físicas do líquido a ser atomizado. A situação mais simples é o caso de um jato de líquido emergindo de um orifício circular onde a componente principal da velocidade está na direção axial e o jato é laminar.

Neste estudo clássico Lord Rayleigh postulou o crescimento de pequenas perturbações que eventualmente levam à quebra do jato em gotas tendo diâmetros aproximadamente de duas vezes o diâmetro do jato. Um jato de líquido completamente turbulento pode romper-se sem a aplicação de qualquer força externa. Uma vez que as componentes radiais não estejam mais sob a restrição das paredes sua única limitação são as forças de tensão superficial, e o jato rompe-se no momento em que essas forças são sobrepujadas. A viscosidade age na atenuação do crescimento das instabilidades inibindo e atrasando a desintegração em seu conjunto. Isto faz com que a desintegração ocorra longe das regiões de baixa velocidade relativa, fazendo que a desintegração próxima dessas regiões de baixa velocidade dê origem a gotas de tamanho grandes. Na maioria dos casos, turbulência no lí-

quido, cavitação na garganta e interação aerodinâmica com o ar das vizinhanças de forma a aumentar a densidade do mesmo, todas contribuem para a melhoria da atomização (SCHWARZKOPF et al., 2011).

No injetor do tipo “prefilming airblast atomizer” a atomização é conseguida expondo um filme líquido de baixa velocidade a uma corrente de ar de altíssima velocidade. Evidências fotográficas sugerem que para líquidos de baixa viscosidade o mecanismo básico envolvido na produção de gotas é essencialmente aquele observado na atomização por pressão, nomeadamente a produção de gotas ocorre a partir de ligamentos criados por perfurações no filme ou pelo mecanismo de ondulação do filme líquido.

Um spray típico inclui uma vasta gama de tamanho de gotas. O conhecimento da distribuição de tamanhos de gotas é de grande ajuda nos processos de aplicação dos sprays, especialmente nos cálculos de transferência de calor e massa entre o líquido disperso e a atmosfera circundante. Desafortunadamente não existe desenvolvida uma teoria completa da formação de sprays que descreva os processos hidrodinâmicos e aerodinâmicos a que estão submetidos os sprays quando um jato, ou filme líquido desintegra-se sob condições normais de atomização de tal forma que a maioria das correlações existentes para tal são experimentais. Fazemos uso, portanto, dessas correlações empíricas para a predição do tamanho médio das gotas geradas e de sua distribuição (COSTA, 2013).

A comparação dessas correlações em usos comuns revela que todas possuem deficiências de uma espécie ou outra. Em uma o diâmetro máximo da gota é ilimitado em outra o diâmetro mínimo é zero ou mesmo negativo. Desse modo a melhor função distribuição é aquela que, para uma dada aplicação, melhor correlacione os dados experimentais e seja de mais fácil aplicação. A dificuldade de especificação de uma dada função distribuição de tamanho de gotas em sprays levou ao aumento da família de diâmetros médios. Dessa forma um diâmetro médio divide o spray em duas partes iguais em número, tamanho, área superficial ou volume (COSTA, 2013).

2.3.3 Quebra Primária e Quebra Secundária

Segundo (GUZZO, 2012), no exato momento em que o jato líquido do atomizador passa pelo orifício de saída do mesmo, forças externas do meio competem com as forças internas do líquido e tensões superficiais e, então, se inicia um processo destrutivo do filme líquido formado neste canal de saída. A atomização primária é aquela cujas perturbações e oscilações no filme líquido causam sua desintegração em gotas. O processo de quebra destas gotas formadas é conhecido como atomização secundária e acontece assim que é atingido o número de Webber crítico, tal como será visto adiante.

A quebra primária envolve a formação inicial de gotas e outros fragmentos de líquido na superfície de um líquido, onde esta é importante porque controla a dispersão

inicial do líquido na fase gasosa e, através do forte efeito dos tamanhos de queda nas taxas de transporte interfase, as propriedades de mistura subsequentes dos pulverizadores. A quebra secundária envolve qualquer quebra subsequente de gotas ou fragmentos de líquido presentes como líquido disperso, onde esta é importante porque as gotas após a separação primária são intrinsecamente instáveis para a separação secundária, o que afeta as taxas de mistura subsequentes influenciando o tamanho da gota também (MALISKA, 2017).

A Figura 6, ilustra as etapas de atomização primária e secundária acima comentadas numa sequência de fotografias de vapor d'água tiradas próximo à jusante de saída do atomizador:

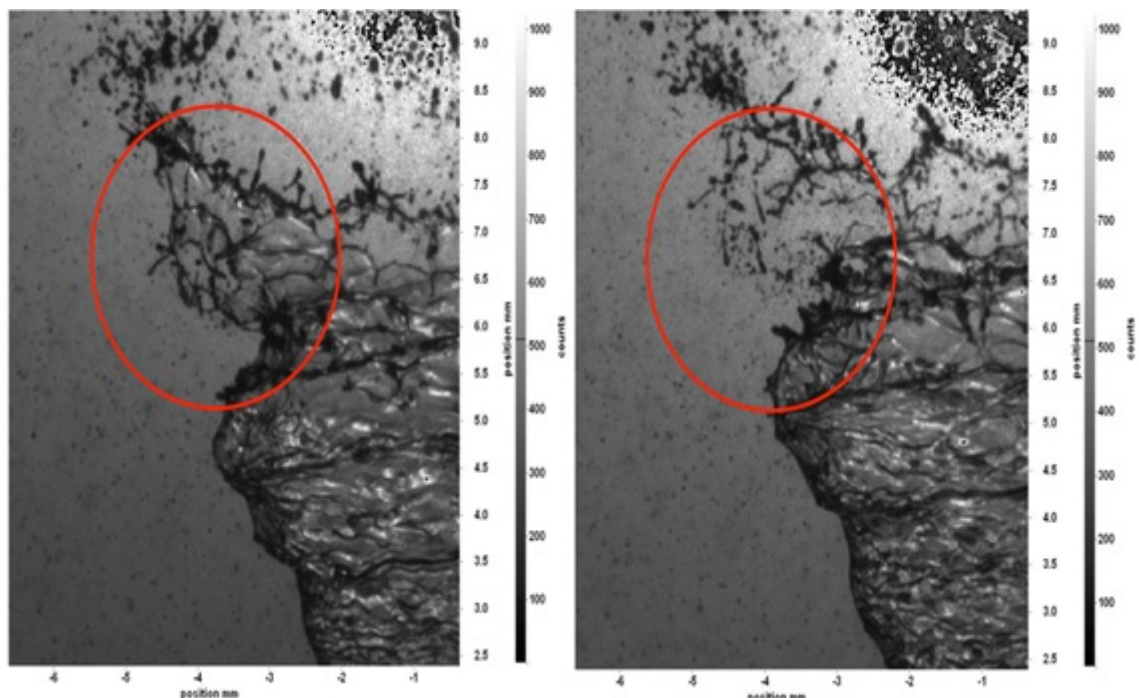


Figura 6 – Demonstração da Quebra Primária e Secundária (GUZZO, 2012)

2.4 Eletrônica

2.4.1 Microcontrolador PIC16F628A

O PIC é um circuito integrado com barramento de 8 bits (via de comunicação com 8 caminhos, onde por cada caminho circula um bit dos dados tratados pelo microcontrolador), produzido pela empresa Microchip Technology e está apresentado na Figura 7. Esta empresa é uma dos principais fornecedores de microcontroladores e semicondutores analógicos (MICROCHIP, 2017a).

2.4.1.1 Características

A seguir, serão descritas as características do PIC16F628A (MICROCHIP, 2017b):

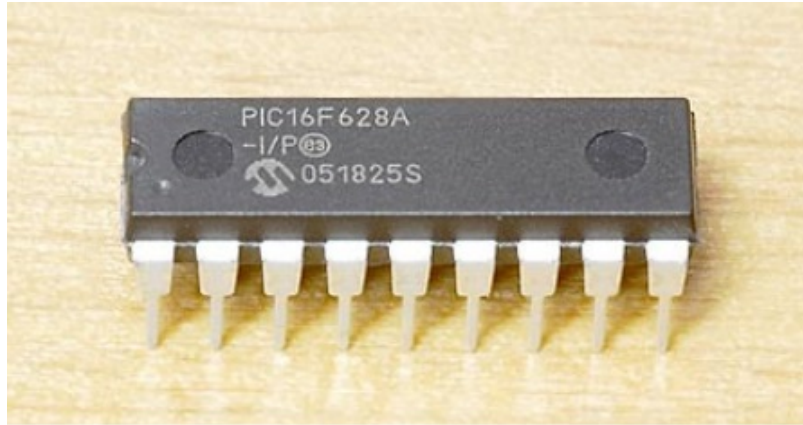


Figura 7 – *Chip* do microcontrolador PIC16F628A. Esta pastilha comporta um microprocessador com instruções RISC e periféricos internos de memória, osciladores, USART, entre outros.

Fonte: (ELETRONICS, 2017)

- Tecnologia CMOS;
- Dezoito pinos, onde 15 deles são destinados às entradas e saídas do sistema;
- CPU (*Central Processor Unit* ou Unidade de Processamento Central) com 35 instruções RISC, responsável por interpretar as instruções do programa;
- Memória PROM (*Programmable Read Only Memory* ou Memória Programável Somente para Leitura) de 128 bytes, onde algumas instruções são armazenadas permanentemente;
- Memória RAM de 224 bytes;
- Memória de programa do tipo FLASH de 2048 x 14 bits;
- Frequência de operação de até 20 MHz;
- Oscilador interno de 4MHz/37MHz;
- Tensão de operação entre 3V e 5V;
- Dez fontes de interrupção.

2.4.1.2 Arquitetura

A Figura 8 ilustra a arquitetura e a distribuição das funções através dos 18 pinos existentes no PIC16F628A. É possível observar que este microcontrolador possui quatro pinos dedicados às entradas analógicas (AN0, AN1, AN2 e AN3); a alimentação é feita por meio dos pinos 5 e 14 (aterramento e fonte de alimentação de 5V, respectivamente);

o pino 7 apresenta a função de recepção, enquanto no pino 8 se localiza a transmissão, ambos dedicados à comunicação serial.

Existem também dois conjuntos de portas: PortA (RA0 a RA7) e PortB (RB0 a RB7). Esses pinos são chamadas de portas bidirecionais, visto que podem funcionar tanto como entradas, quanto como saídas, e isto é definido através da programação dos registradores TRISA e TRISB (MICROCHIP, 2017b).

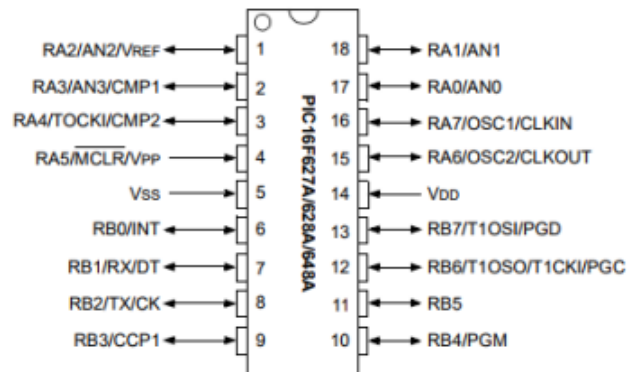


Figura 8 – Descrição da arquitetura do microcontrolador PIC16F628A, onde estão apontadas as funções correspondentes a cada pino. Pode-se observar que um mesmo pino pode ser utilizado para mais de uma função.

Fonte: (MICROCHIP, 2017b)

2.4.1.3 Registradores

Além das características mencionadas, o PIC16F628A possui um conjunto de periféricos internos que garantem maior flexibilidade de integração nas aplicações onde são utilizados. As funções destes periféricos internos são definidas através da programação de seus registradores correspondentes. Dentre estes, destacam-se (MICROCHIP, 2017b):

- *Status Register*: contém o estado das operações matemáticas, ou seja, dependendo do resultado da operação realizada, este registrador sinaliza *flags*, que auxiliam na tomada de decisão dentro das rotinas de programação. Este registrador também controla o *reset* e os bits de seleção dos bancos de memória de dados;
- *INTCON Register*: controla todas as interrupções que podem ocorrer nas rotinas, exceto o módulo comparador;
- *TRISA*: configura os pinos correspondentes às entradas e saídas da porta A. O bit '1' configura o pino como saída, enquanto o bit '0', como entrada;
- *TRISB*: configura os pinos correspondentes às entradas e saídas da porta B, e funciona da mesma maneira que TRISA.

- *CMCON Register*: seleciona e configura, dentre oito modos de operação existentes, o módulo comparador mais apropriado a cada aplicação;
- *VRCON Register*: controla o funcionamento de uma referência de tensão que é selecionável, de acordo com a aplicação. Essa tensão é selecionada por meio de uma rede de transistores, e é utilizada como parâmetro de comparação para o módulo de comparador;
- *TXSTA*, *RCSTA* e *BRG*: configura as portas de transmissão, recepção e a taxa de transmissão para a USART (*Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter* ou Módulo de Transmissão/Recepção Serial).

2.4.2 Conversor Analógico Digital

A grande maioria dos fenômenos físicos da natureza que possuem interesse prático na área da ciência são representados por sinais analógicos. Estes sinais podem ser biológicos, sísmicos, sonar, de comunicação (vídeo e áudio), de corrente e tensão adquiridos de equipamentos elétricos e eletrônicos, entre outros (LIMA et al., 2015).

Sinais analógicos são aqueles que variam continuamente, e representam alguma quantidade física que também varia de forma contínua (DINIZ; SILVA; NETTO, 2014). Como exemplo disto, é possível citar sinais de tensões e correntes resultantes da leitura de sensores analógicos (SANTOS, 2015).

Os sensores analógicos também são conhecidos como sensores de saída linear. São mais complexos que os digitais, entretanto, são mais precisos, visto que admitem qualquer valor do sinal de saída ao longo do tempo, sob condição de que esteja dentro da sua faixa de operação (POUSO, 2012).

Basicamente, o conversor A/D (Analógico Digital) é responsável por converter o sinal analógico (contínuo no tempo) em sinal digital (ou sinal discreto no tempo), representado por uma sequência de números, que descrevem amostras deste sinal. Desta forma, as informações que estes sinais carregam podem ser processadas por meios digitais, como é o caso dos computadores, microcontroladores, e outros *hardwares* digitais (BARELA; DUARTE, 2011).

Em geral, o processo de digitalização de sinal envolve três etapas: amostragem, onde são obtidas amostras do sinal contínuo, em instantes de tempo igualmente espaçados; quantização, onde é estabelecido um conjunto finito de valores possível para a amplitude de cada amostra; e codificação, onde cada nível de quantização é transformado em uma sequência de "zeros" e "uns" (codificação binária) (FERNANDES; PANAZIO, 2009), (LIMA et al., 2015), (SANTOS et al., 2014). Estas etapas podem ser visualizadas na Figura 9.



Figura 9 – Etapas da conversão A/D, onde $x(t)$ é o sinal analógico; $x[n]$ é o sinal discretizado no tempo, após o processo de amostragem; $q[n]$ é o sinal quantizado; e ao final do processo de codificação, aparecem os bits correspondentes ao sinal analógico $x(t)$.

Fonte: Adaptado de (SANTOS et al., 2014)

Existem quatro aspectos que diferenciam os conversores A/D: método usado na conversão, resolução, frequência de amostragem e forma de apresentação do resultado da conversão. Com relação ao método, os principais são método por realimentado, método paralelo (*flash*), método sigma-delta, sendo o método por aproximações sucessivas um dos mais conhecidos (JUNIOR; DUARTE, 2011).

2.4.3 Comunicação Serial

Em termos gerais, a comunicação se dá entre dois dispositivos por intermédio de um meio de transmissão. Estes dispositivos constituem um sistema de comunicação que apresentam as seguintes características: entrega, onde é garantida o destino correto dos dados enviados; precisão, que assegura que os dados não sofrerão distorções durante o processo de transmissão; e sincronização, que permite fornecer os dados sem atrasos consideráveis (FOROUZAN, 2009).

Já o termo comunicação serial (ou transmissão serial) refere-se ao processo de enviar e receber dados, bit a bit, de modo que cada carácter é transmitido de forma sequencial, um após o outro. Isto acontece porque as mensagens digitais, normalmente, são mais longas que alguns poucos bits. Desta forma, a mensagem é quebrada em pacotes menores, onde cada bit corresponde a uma parte desta mensagem. Por fim, os bits individuais são rearranjados no destino para compor a informação original (DAVID, 2010), (SOUSA et al., 2016).

Para estabelecer a comunicação serial, é necessário especificar quatro parâmetros (BRANDOLIM et al., 2007):

1. Taxa de transmissão (*Baud Rate*): refere-se à velocidade com que os dados são enviados através de um canal e é medida em transições elétricas por segundo;
2. Número de bits da informação;

3. Bit de paridade: informar se está sendo utilizado ou não;
4. *Stop Bits*: refere-se à um sinal de saída, enviado após cada código de palavra.

Tendo em vista a necessidade da troca de informações entre diversos sistemas de comunicação, foi criado o código ASCII (*American Standart Code for Interchange of Information*), onde cada caracter, seja ele de controle ou especial, possui um correspondente binário (JÚNIOR, 2004), (RICARDO; SOUZA, 2014).

Os principais modos de comunicação serial que existem atualmente são o assíncrono, o síncrono, o *Simplex*, o *Half-Duplex*, *Full-Duplex* e RS-232, sendo a última mais importante para este trabalho.

2.4.3.1 Comunicação RS-232

RS-232 (*Recommmeded Standart*) é um dos padrões utilizados para a comunicação de dados seriais. Este padrão foi desenvolvido na década de 60 pelo comitê denominado *Eletronic Industries Alliance* (EIA) que definiu alguns aspectos relacionados ao padrão RS-232, como as características elétricas do sinal (níveis de tensão, sinalização de taxa, temporização, capacitância e comprimento do cabo); características mecânicas de interface, conectores e pinos; função de cada circuito na interface do conector; e subconjuntos de interfaces padrão para a utilização da comunicação serial em aplicações de telecomunicações (BRANDOLIM et al., 2007), (DAVID, 2010).

Abaixo estão descritas algumas limitações da interface RS-232 (BLÖMER, 2014):

1. Quanto à distância: esta alcança apenas 15 metros, devido ao padrão estabelecido. Comprimentos de cabos maiores podem acarretar perda de dados.
2. Quanto à capacitância permissível no cabo: quando um sinal passa de uma condição para outra, a especificação limita a quantidade de tempo na região indefinida a 5% de capacitância permissível no cabo, porque a capacitância limita o tempo de transmissão do sinal.
3. Quanto à velocidade máxima de transmissão: esta se restringe a 20.000 bps, pois o UART embutido nas portas seriais de computadores pode perder todos os dados durante operações contínuas de transferência.
4. Quanto ao aterramento: se houver uma diferença de potencial de terra entre as duas extremidades do cabo utilizado na comunicação, existe a possibilidade de que um sinal seja interpretado de maneira incorreta.

Existe uma diversidade muito grande de conectores utilizados para a comunicação serial. Contudo, existem duas referências diferentes para a interface RS-232. Estas estão ilustradas na Figura 10.

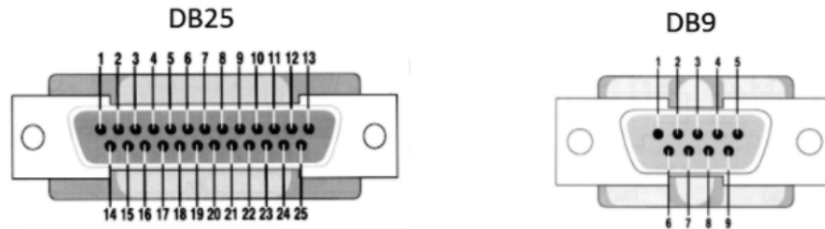


Figura 10 – Os pinos 2 e 3 se referem à transmissão e recepção de dados, respectivamente, no conector DB25. Já no conector DB9, o pino 2 tem a função de recepção, enquanto o pino 3, a função de transmissão. Os outros pinos são para aterramento e controle de fluxo de dados.

Fonte: (SOUZA, 2015)

3 Metodologia

Devido a impossibilidade de conseguir-se um bico injetor para simulação do escoamento multifásico na parte do procedimento experimental, todos os testes realizados foram feitos considerando-se como forma de arrefecimento o vapor d'água. Para caracterização dos testes, foi utilizado o vaporizador para simular da forma mais próxima possível o comportamento de um sistema utilizando esse tipo de arrefecimento.

3.1 Simulação *ANSYS/FLUENT*

O problema a ser especificado, representa o resfriamento de uma superfície de aço utilizando um sistema para simular spray multifásico. Porém, este processo envolve diversos efeitos de transferência de calor que serão especificados nesta parte do trabalho.

No caso de uma simulação completa sobre todos os parâmetros envolvidos nesse tipo de resfriamento, teríamos que considerar a questão da troca de calor entre a camada de líquido que se forma sobre a superfície metálica e o aço. Além disso, tem-se que considerar os aspectos envolvidos na troca de calor por radiação da placa de aço aquecida e o ambiente externo.

Para a simulação realizada no ANSYS, não foram considerados esses efeitos de Transferência de Calor, apenas consideramos a placa de aço a 120°C entrando em contato com o fluido, que no nosso caso é a vapor d'água a temperatura ambiente, e observou-se o comportamento da temperatura na superfície da placa.

O software *ANSYS* contém as capacidades largas da modelagem física necessários para modelar o fluxo, a turbulência, a transferência térmica, e as reações para as aplicações industriais que variam do fluxo de ar sobre uma asa de aviões à combustão em uma fornalha, das colunas da bolha às plataformas petrolíferas, da circulação sanguínea à fabricação do semicondutor, e do projeto do quarto desinfetado às fábricas de tratamento do wastewater. Os modelos especiais que dão ao software a habilidade de modelar a combustão do em-cilindro, o aeroacoustics, o turbomachinery, e os sistemas multiphase serviram para alargar seu alcance.

Hoje, os milhares de companhias tiram proveito no mundo inteiro do uso do software ANSYS como uma parte integrante de suas fases do projeto e da otimização de desenvolvimento de produtos. A tecnologia avançada do agente de resolução fornece rapidamente, resultados exatos do CFD, mover-se flexível e engranzamentos de deformação, e escalabilidade paralela do superior. As funções definidas pelo utilizador permitem a execução de modelos novos do usuário e a personalização extensiva dos existências. A instalação,

a solução, e o post-processing interativos do agente de resolução do ANSYS FLUENT fazem fácil pausar um cálculo, examinam resultados com post-processing integrado, mudam qualquer ajuste, e continuam então o cálculo dentro de uma única aplicação. Os arquivos de dados do caso e podem igualmente ser lidos no CFD-Borne de ANSYS para uma análise mais adicional com as ferramentas avançadas do post-processing e comparar resultados dos casos diferentes de lado a lado.

3.2 Construção da Bancada Experimental

3.2.1 Desenvolvimento do projeto eletrônico

3.2.1.1 Caracterização dos sensores

Nesta seção, serão descritas as etapas, as análises e os procedimentos realizados para caracterização dos dispositivos utilizados no monitoramento da temperatura dos pontos captados pelos sensores instalados.

Além disso, serão descritas as topologias necessárias para a aquisição de informações de tensão através dos sensores e para a tomada de decisão para o acionamento do sistema de resfriamento.

3.2.1.2 Caracterização do termistor NTC 3950

Os sensores utilizados para para monitorar a temperatura foi o termistor NTC 3950, mostrado na Figura. 11.



Figura 11 – Sensor de temperatura NTC 3950 de 100k Ω . Possui estabilidade de 1%, ou seja, garante que a variação da características de resistência em relação à temperatura, ao decorrer do tempo, não ultrapassará 0,1°C. Além disso, este termistor pode identificar uma faixa de temperatura de -40°C a 300°C.

Fonte: ([PRINTGREEN3D, 2018](#))

Sua função é a detecção de temperaturas. Isto acontece porque, em sua composição existe um semicondutor que é capaz de variar sua resistividade de acordo com as mudanças de temperatura.

O NTC possui um coeficiente de temperatura negativo, portanto, a sua resistividade cai com o aumento da temperatura.

O principal motivo para sua utilização é que este tipo de sensor possui uma resistência de 100k, por isso, a faixa de variação da resistência é ampla.

Para compreender a operação deste dispositivo, foi realizado o primeiro experimento indicado na Figura 12.



Figura 12 – Experimento realizado a fim de relacionar a mudança de temperatura à sua respectiva resistência, e assim adquirir uma curva que expressa o comportamento entre essas duas variáveis.

Fonte: Autoria própria

Utilizando um recipiente de plástico, o termistor foi fixado em uma de suas laterais, de modo que ficasse em contato com a água quente.

A água foi aquecida até o ponto de ebulição e depois colocada dentro do recipiente. Quando as medições iniciaram, a água se encontrava a uma temperatura de 84°C e finalizaram quando atingiu 35°C.

As medidas foram realizadas de 1 em 1°C, e a curva que relaciona temperatura com sua respectiva resistência pode ser visualizada nos Resultados.

Porém, para que a temperatura fosse identificada pelo PIC16F628A, as resistências encontradas tiveram de ser representadas em tensões correspondentes.

Para isso, o experimento anterior foi repetido, mas o terminal que anteriormente estava ligado ao terra, desta vez foi conectado a um divisor de tensão formado pela resistência obtida pelo termistor e um resistor de 27kΩ, conforme o esquema da Figura 13, e de acordo com a Equação 4.3.5

$$Medida(J2) = \frac{R1}{RT1} \times 5V(J1) \quad (3.1)$$

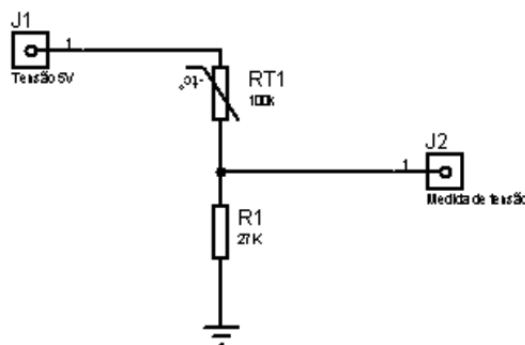


Figura 13 – Divisor de tensão utilizado para adquirir as medidas de tensão referentes à variação de resistência. Por meio do conector J1, o sensor é alimentado com 5V, e as medidas de tensão são obtidas por meio do conector J2. O resistor de $27k\Omega$ foi escolhido de maneira que o divisor de tensão apresentasse uma tensão máxima de aproximadamente 3,5V, através da Equação 4.3.5.

Fonte: Autoria própria utilizando o software *Proteus*

Finalmente, para a mesma variação de temperatura indicada no primeiro experimento, a tensão variou de 2,28V a 3,7V.

3.2.1.3 Caracterização do multiplexador HEF4052B

Conforme mencionado nos objetivos deste trabalho, para que o sistema de resfriamento seja eficiente e confiável, foram utilizados um sensor de corrente e dois sensores de temperatura para monitorar o comportamento térmico em superfícies metálicas para utilização na indústria Aeroespacial.

Desta forma, considerando que foram utilizadas apenas uma entrada do PIC16F628A para a aquisição de medidas de temperatura, tornou-se necessária a utilização de um chip que permitisse a multiplexação dos sinais de tensão provenientes destes sensores, ou seja, um circuito integrado capaz de chavear os sinais conectados às suas entradas, e por meio da sua saída ligada à entrada analógica do microcontrolador, permitir que este possa realizar a leitura de um sinal por vez.

Por esta razão, o multiplexador HEF4052B, ilustrado na Figura 14 se tornou a opção mais viável e suficiente para atender esta aplicação. Este multiplexador possui dois blocos com quatro entradas e uma saída cada um, sendo que foram utilizadas as entradas Y_{0B} (pino 1), Y_{1B} (pino 2), Y_{2B} (pino 2) e Y_{3B} (pino 4) para os 4 sensores de temperatura. A saída utilizada foi a Z_B (pino 3), que foi ligada à entrada analógica RA0 (pino 17) do PIC16F628A.

Para a caracterização deste dispositivo, foram inseridas tensões de 5V para simular o nível lógico alto em suas entradas e através do nível das suas portas de seleção (A0 e

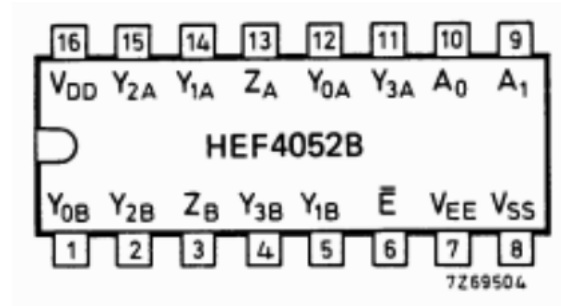


Figura 14 – Diagrama dos pinos do multiplexador analógico de quatro canais HEF4052B, onde os pinos 1, 2, 4 e 5 se referem às entradas de leitura dos sensores de temperatura, enquanto o pino 3 se refere à saída conectada ao PIC16F628A.

Fonte: (PHILIPIS, 1995)

A1), a saída apresentou valores de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Saída do multiplexador HEF4052B, de acordo com o nível lógico das portas de seleção A0 e A1, por exemplo, quando A0=0 e A1=0, a saída apresentará o valor presente na entrada Y_{0B} . O mesmo acontece para as outras combinações de A0 e A1

A0	A1	Saída
0	0	Y_{0B}
0	1	Y_{1B}
1	0	Y_{2B}
1	1	Y_{3B}

Fonte: Adaptado de (PHILIPIS, 1995)

Primeiramente, as portas de seleção foram chaveadas por meio de tensões. Posteriormente, a seleção foi realizada por meio da programação do PIC16F628A.

3.2.1.4 Caracterização do conversor Analógico-Digital (AD)

O ADC tem como objetivo obter, em suas saídas, sinais digitais que correspondem ao sinal analógico das entradas AN0, AN1, AN2 e AN3 do microcontrolador.

Como o PIC16F628A não possui esta função pré-definida, foi utilizado o Módulo Comparador (CMCON) da Figura 15, que realiza a comparação do sinal analógico de entrada com um valor de referência proveniente do Módulo de Referência de Voltagem (VRCON) da Figura 16.

A escolha do valor de referência (V_{REF}) se dá por meio da equação 3.2, sendo $V_{DD} = 5V$. Este valor foi definido levando-se em consideração a tensão máxima obtida por meio da leitura dos sensores que fornecem dados de voltagem de acordo com as variações de corrente e temperatura.

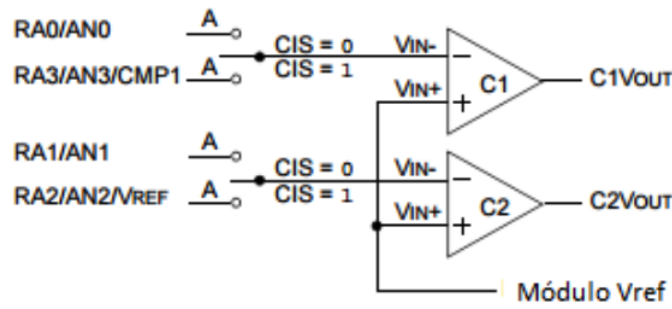


Figura 15 – Módulo comparador com entradas multiplexadas. A entrada utilizada é a RA0, que está conectada à saída do multiplexador HEF4052. Desta forma, V_{IN-} receberá o valor de tensão analógica proveniente de cada sensor, enquanto V_{IN+} apresentará o valor definido pelo Módulo de Referência de Voltagem (VRCON)

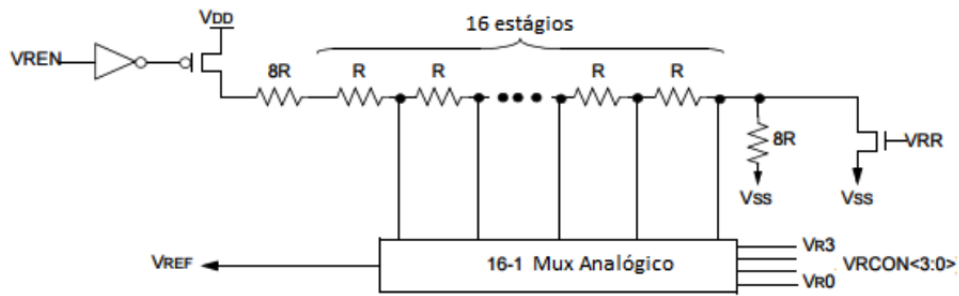


Figura 16 – Diagrama de blocos do módulo de referência de voltagem. Este módulo apresenta 16 estágios, ou seja, por meio do V_{DD} escolhido, o valor obtido através de cada estágio é enviado como valor de referência para o processo de comparação descrito anteriormente. Cada estágio habilita os bits VR3 a VR0 do registrador VRCON. Esta será a saída digital referente a cada entrada analógica.

$$V_{REF} = (V_{DD} \times \frac{1}{4}) + \frac{V_R < 3 : 0 >}{32} \times V_{DD} \quad (3.2)$$

Desta forma, quando a entrada analógica é menor que V_{REF} , a saída do comparador apresenta nível baixo (zero). Caso seja igual ou maior, a saída vai para nível alto (um). A partir disso, utilizou-se o método de aproximações sucessivas, também conhecido como método da iteração linear.

O bloco do registrador de aproximações sucessivas (SAR) é composto por duas entradas: uma para o sinal de entrada proveniente do comparador, e a outra para o contador, que realiza a iteração de 0 a 15. Quando a saída do comparador está em nível alto, o valor atual do contador é capturado. Esta é a representação digital para a entrada naquele instante. Como foram utilizados 4 bits para a representação binária das saídas

digitais, 16 representações são possíveis. A Tabela 2 mostra as voltagens das entradas analógicas e suas respectivas saídas digitais.

Tabela 2 – Representação binária para um conversor AD de 4 bits, onde cada valor de referência corresponde a uma representação.

VR3:VR0	V_{REF}
0000	0,00V
0001	0,21V
0010	0,42V
0011	0,63V
0100	0,83V
0101	1,04V
0110	1,25V
0111	1,46V
1000	1,67V
1001	1,88V
1010	2,08V
1011	2,29V
1100	2,50V
1101	2,71V
1110	2,92V
1111	3,13V

Fonte: Adaptado de ([MICROCHIP](#),)

3.2.1.5 Acionamento do sistema de resfriamento

A escolha do material adequado utilizado em aplicações na indústria Aeroespacial dependem uma temperatura ideal de operação, desta forma, o estudo do resfriamento de sistemas se torna essencial quando temperaturas elevadas podem ser atingidas.

Assim, por meio do código implementado no microcontrolador, quando atingida a temperatura determinada de 120°C, o fluxo de vapor d'água será redirecionado para a placa, para que durante o seu resfriamento seja monitorado o comportamento da temperatura, além de averiguar-se o perfil radial de resfriamento observado nas simulações realizadas, e conforme esperado no estudo teórico.

Para o redirecionamento do fluxo de vapor d'água foi utilizado um *cooler*, com dimensões 9,2 cm X 9,2 cm X 2,5 cm, tensão de 12V, consumo de 1,80W e corrente de 0,15A, velocidade 2200 RPM e ruído de 26dB.

3.2.1.6 Funcionamento do sistema de inspeção de temperatura

O objetivo desta etapa foi desenvolver um método capaz de realizar o monitoramento das temperaturas em um intervalo de tempo pré-definido após o aquecimento da

placa e o acionamento do sistema de resfriamento, a fim de estudar o comportamento do perfil de temperatura durante o arrefecimento do aço. Este monitoramento foi feito em temperaturas de 120 até 30°C. Para isso, utilizou-se seis dos sensores descritos anteriormente, a topologia descrita na Figura 13 e a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino Uno.

Por meio do software do desenvolvedor do Arduino, implementou-se uma rotina de leitura para os sensores, demonstrada posteriormente em anexo.

Essa rotina captura as tensões referentes a cada temperatura, por meio das portas analógicas do Arduino, sendo possível acompanhar a variação através do Excel, conforme exemplificado na Figura 17.

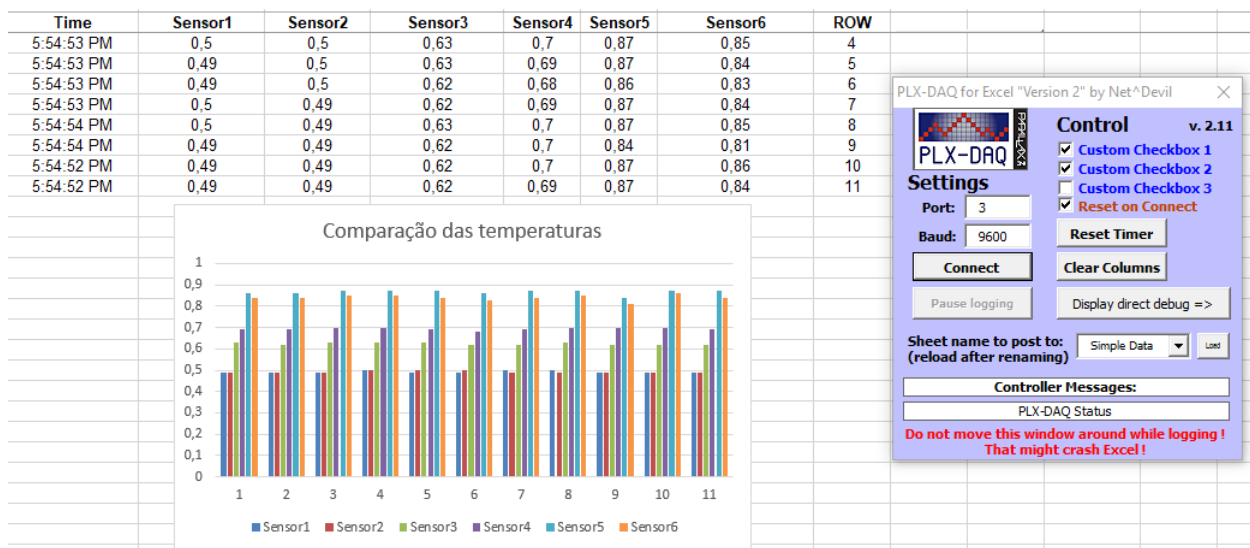


Figura 17 – Planilha e gráfico de comparação das informações obtidas por seis sensores em um mesmo instante de tempo, a fim de evidenciar a distribuição de temperaturas em partes distintas da placa.

Fonte: Autoria própria utilizando o *Microsoft Excel*.

A distribuição dos sensores fixados à placa está representada na Figura 18. Desta forma, é possível identificar quais regiões foram mais suscetíveis ao aquecimento e comparar com os resultados obtidos nas simulações.

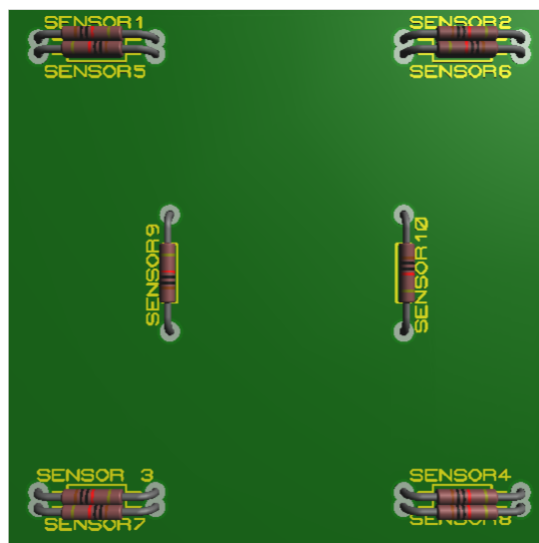


Figura 18 – Disposição dos sensores de temperatura em contato com a superfície da placa, a fim de capturar as informações de tensões correspondentes às temperaturas.

Fonte: Autoria própria

3.2.2 Projeto no CATIA

Um esquema de projeto para desenvolvimento de análises experimentais e testes em Laboratório foi desenvolvido no software *CATIA*. Inicialmente, após estudo de toda a problemática teórica e dos conceitos de Transferência de Calor que devem ser levados em consideração para a realização desse projeto, foi desenvolvido um sistema inicial para averiguar, na prática, todos os aspectos a serem estudados, conforma demonstrado na figura 19.

O projeto, representado na Figura 19, apresenta um sistema compondo uma placa de aço quadrada de 8 cm, isolada termicamente, fixadas em uma estrutura de Metalon revestida lateralmente e no topo com chapas de acrílico, juntamente com um circuito integrado de acionamento de um sistema de resfriamento por meio de Cooler que irá redirecionar o fluxo de vapor d'água de um vaporizador para resfriamento dessa placa. Na placa de aço, foram fixados sensores de temperatura conectados a um microcontrolador, onde em períodos de 1 segundo, serão armazenadas as temperaturas com o passar do tempo, onde estas serão utilizadas posteriormente para as devidas análises e serão demonstradas por meio de gráficos no Excel.

3.2.3 Desenvolvimento da Bancada

Após a realização do desenho no *CATIA*, foi possível aferir todas as medidas, espaçamentos e problemáticas para início da construção do banco de testes.

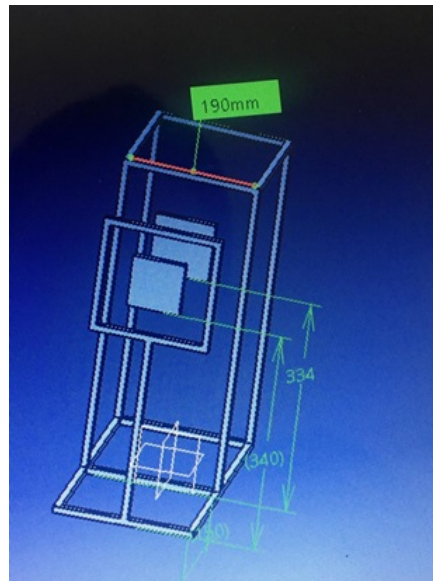


Figura 19 – Esquema da Bancada Experimental

Fonte: Autoria própria

Para uma maior resistência do sistema e por questões estéticas, decidiu-se fazer o esqueleto da estrutura de Metalon 20x20 mm, conforme demonstrado na figura 20.

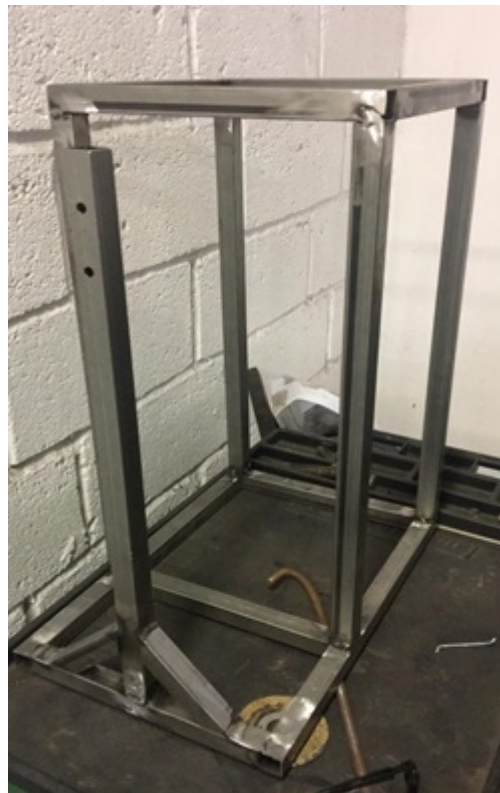


Figura 20 – Esquema do Esqueleto da estrutura

Fonte: Autoria própria

Para amenizar qualquer erro durante a aferição dos resultados, resolveu-se colocar placas de acrílico nas laterais e no topo, cortadas nas medidas exatas, para evitar qualquer tipo de corrente de ar que poderia interferir durante o resfriamento da placa (Figura 21).



Figura 21 – Visão lateral da estrutura

Fonte: Autoria própria

A traseira da estrutura ficará aberta, pois o cooler necessita de entrada de ar para que este consiga expelir o vapor d'água do vaporizador. Essas placas de acrílico serão fixadas no esqueleto utilizando-se uma fita dupla face 3M, pois esta consegue proporcionar uma boa fixação do acrílico no Metalon e além disso, será utilizada como isolante térmico entre a placa de aço e a estrutura de Metalon, visto que a fita resiste altas temperaturas.

Após o processo de acabamento finalizado, todos os sensores de temperatura foram instalados na placa, onde num total de 10 sensores, 4 deles serão utilizados para acionar o cooler e 6 deles para realizar o monitoramento do arrefecimento. O vaporizador foi posicionado no compartimento destinado para ele, todas as vedações foram checadas nas brechas do acrílico e o restante da parte eletrônica foi devidamente posicionada para que

se desse início aos testes (Figura 22).

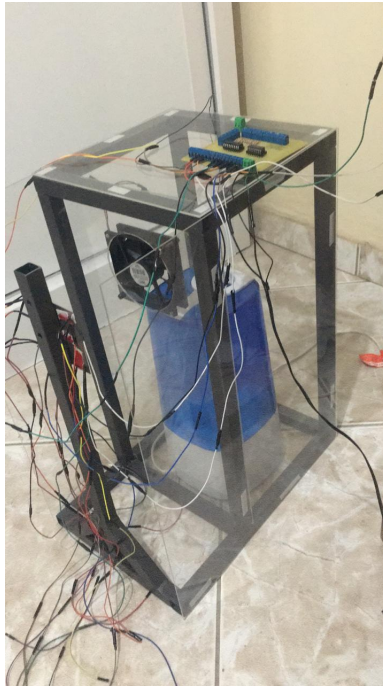


Figura 22 – Estrutura finalizada pronta para os testes.

Fonte: Autoria própria

3.2.4 Descrição do Experimento

Basicamente, pretende-se pré aquecer a superfície metálica de aço de 8 cm x 8 cm, utilizando-se um ferro de passar roupa, escolhido para proporcionar um aquecimento uniforme da placa para evitar-se qualquer tipo de uniformidade no momento de aquecimento da placa, o que causaria discrepância nos resultados esperados. Seguindo nessa linha, foram fixadas placas de acrílico laterais para cortar qualquer tipo de corrente de ar lateral que poderia causar alguma interferência no resfriamento.

Assim que fosse atingida a temperatura de 120°C na placa, o sistema eletrônico composto por microcontrolador irá automaticamente redirecionar o fluxo de vapor d'água do vaporizador para a placa onde será averiguado o comportamento da temperatura com o passar do tempo e as principais características do resfriamento relevantes para efeitos de comparação com a teoria. Além disso, deseja-se verificar o efeito da variação do fluxo de massa de vapor d'água no resfriamento, analisando-se de forma objetiva e com dados relevantes, como a mudança na vazão de vapor d'água pode influenciar nesse determinado tipo de situação, considerando-se duas situações: uma com 0,1 mL/s e 0,01 mL/s.

Todos os dados obtidos serão acompanhados em tempo real, exportados para o *Microsoft Excel* onde serão demonstradas tabelas comparativas e gráficos com todos os

dados. Com esse programa, pode-se averiguar qual o tempo que levou para o resfriamento até a temperatura ambiente, quais os sensores que foram utilizados para acionar o cooler, ou seja, quais as regiões da placa onde o calor se dissipou mais rapidamente.

Os dados obtidos também serão comparados com o perfil observado nas simulações realizadas no ANSYS e de acordo com o esperado pela teoria por meio de gráficos e de comparativos dos perfis obtidos durante as simulações juntamente com os gráficos obtidos com o experimento prático. As condições iniciais do fluxo de água que parte do Cooler estão descritas na tabela 3.2.4, onde a água inicialmente se encontra à temperatura ambiente:

Fluxo de massa 1	Fluxo de massa 2	Temperatura inicial	Temperatura final
0,1 mL/s	0,01 mL/s	120°C	30°C

Tabela 3 – Condições iniciais do fluxo de água

Os diferentes fluxo de massa foram calculados utilizando-se uma balança de precisão, colocou-se o vaporizador sobre ela e calculou-se o tempo necessário para que o peso total diminuísse em 1 grama. O processo foi feito para o vaporizador funcionando na potência máxima e na potencia mínima.

Com a realização do experimento na bancada, alguns parâmetros importantes puderam ser determinados como: comportamento do perfil de temperatura na superfície da placa metálica, análise do tempo decorrido para resfriamento da superfície até a temperatura desejada, influência do fluxo de massa de vapor d'água no arrefecimento, dentre outros parâmetros. Todos esses resultados estão demonstrados na guia “Resultados e Discussões”.

4 Resultados e Discussões

4.1 Simulação

Com a realização da simulação no ANSYS/FLUENT, algumas análises e discussões a respeito dos dados coletados puderam ser realizadas. Na figura 10 e 11, temos os detalhes da malha, onde foram encontrados 9233 nós, 45615 elementos, com um elementos de tamanho próximos de 0,1 mm. A malha foi a mais refinada possível para melhorar os resultados, como mostrado nas Figuras 23 e 24.

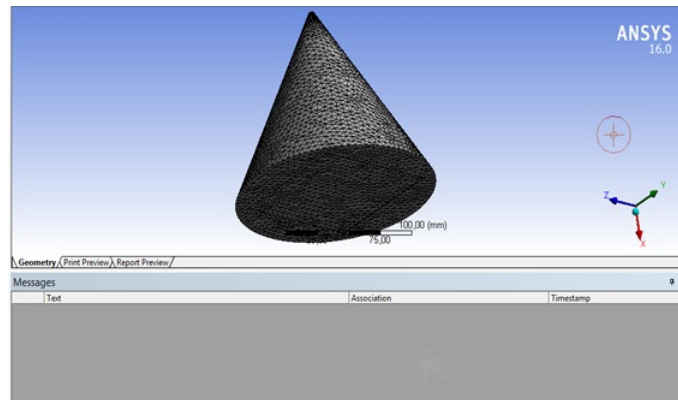


Figura 23 – Malha da Simulação realizada no ANSYS

Fonte: Autoria própria

Details of "Mesh"	
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Minimum Edge Length	1,0 mm
<input checked="" type="checkbox"/> Inflation	
<input checked="" type="checkbox"/> Assembly Meshing	
<input checked="" type="checkbox"/> Patch Conforming Options	
<input checked="" type="checkbox"/> Patch Independent Options	
<input checked="" type="checkbox"/> Advanced	
<input checked="" type="checkbox"/> Defeaturing	
<input checked="" type="checkbox"/> Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	9233
<input type="checkbox"/> Elements	45615
Mesh Metric	None

Figura 24 – Detalhes da Malha

Fonte: Autoria própria

Utilizando parâmetros simplificados e negligenciando alguns efeitos que deixariam a simulação bem mais complexa, conseguiu-se o seguinte perfil de temperaturas, Figura 25, no momento que o fluido entra em contato com a superfície metálica.

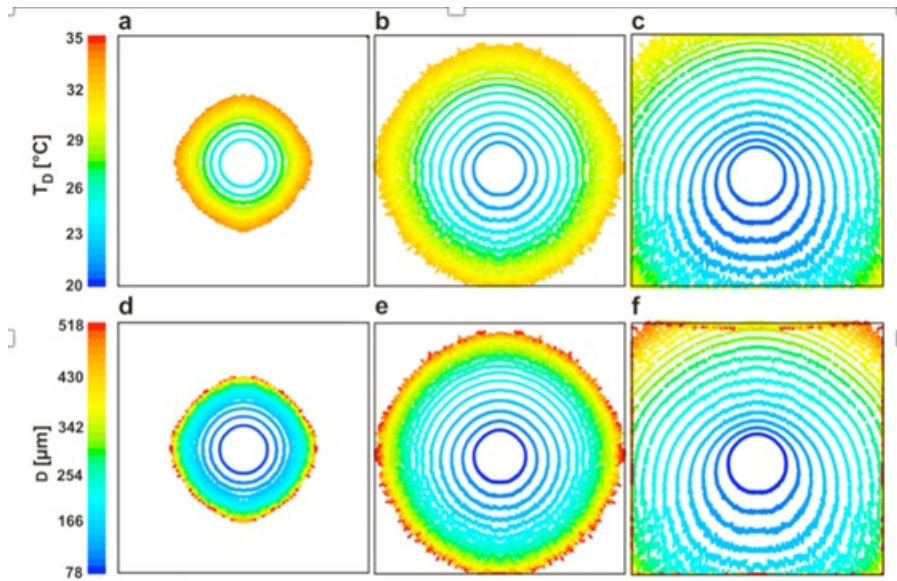


Figura 25 – Perfil de temperaturas

Fonte: Autoria própria

Observa-se que a temperatura será maior nas bordas e diminuindo gradualmente na direção radial, possibilitando uma melhor compreensão de como a temperatura irá ser distribuída na superfície da placa, além disso temos uma relação entre a distancia da superfície a ser aquecida e o injetor, onde quanto mais próximo eles se encontram menor a área que o fluido atingirá para realizar o arrefecimento. Outra relação encontrada, baseia-se na relação entre a velocidade radial do fluido na entrada e o coeficiente de transferência de calor, onde quanto maior a velocidade do fluido menor seria o coeficiente. O gráfico demonstrado na Figura 26, mostra que um fluido estacionário apresenta um maior coeficiente de transferência de calor na posição central e um menor HTC próximo das bordas.

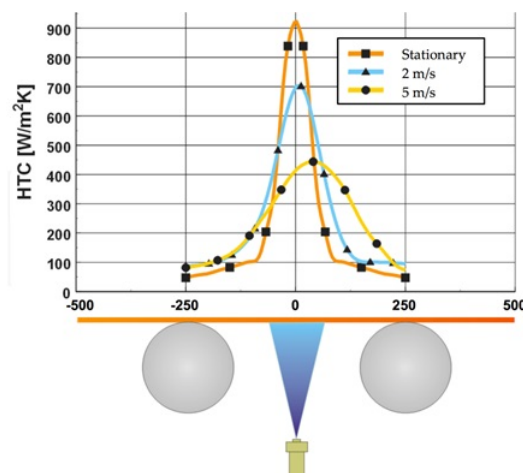


Figura 26 – Gráfico HTC x Posição (ALVAREZ; ALVAREZ; HERNÁNDEZ, 2014)

Na Figura 27, temos a representação do momento de contato entre a placa metálica e a água, demonstrando a distribuição de temperatura em ambos os casos, onde na superfície metálica a temperatura inicialmente maior nas laterais diminui em direção a parte central da placa metálica e a água muda pouco a sua temperatura pois grande parte dela evapora e o restante entra em equilíbrio térmico com a superfície metálica de aço. Com essa simulação no ANSYS, temos uma boa noção do que pode ser esperado nos testes laboratoriais em relação ao comportamento da transferência de calor e do modo como os perfis de temperatura devem se comportar nesse caso.

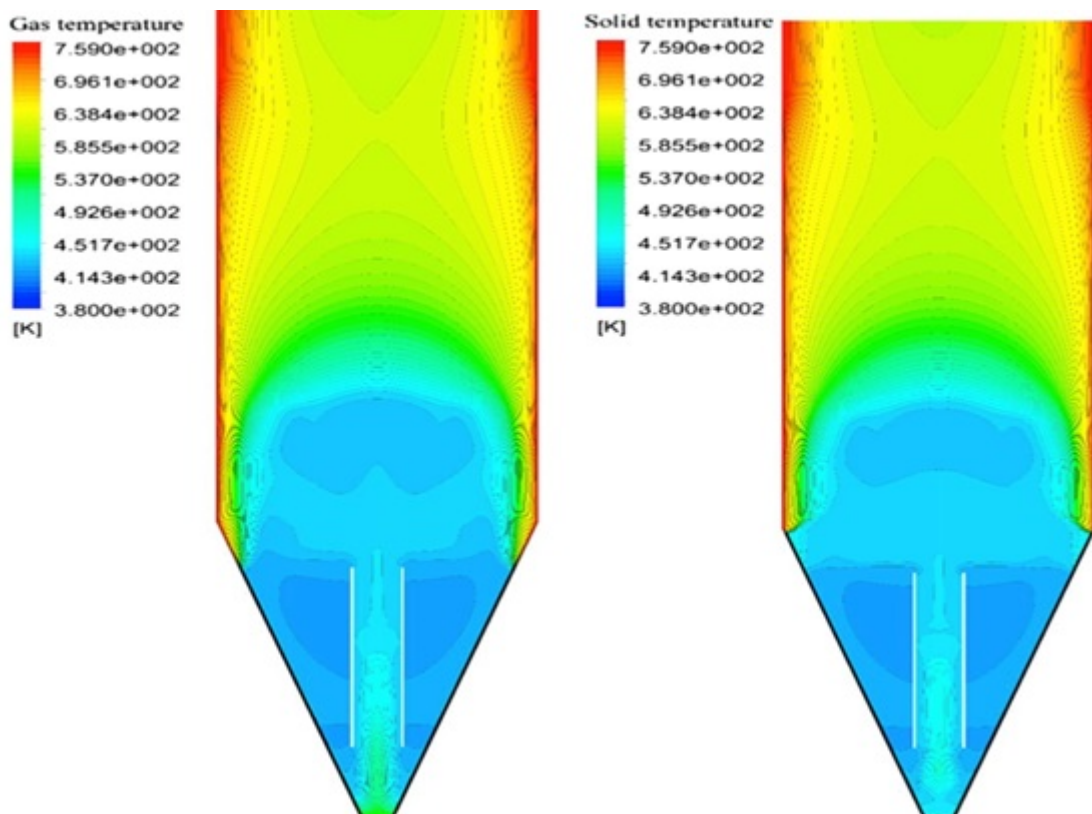


Figura 27 – Esquema no ANSYS do perfil da temperatura do fluido e da superfície resfriada

Fonte: Autoria própria

4.2 Esquemático do circuito de monitoramento

Após as análises realizadas individualmente sobre cada sensor e suas respectivas topologias, elaborou-se um esquemático que abrange todos os módulos discutidos anteriormente, onde cada saída foi conectada ao microcontrolador, a fim de serem interpretadas por meio da programação, apresentada em anexo.

O diagrama esquemático do sistema de acionamento do resfriamento está apresen-

tado na Figura 28.

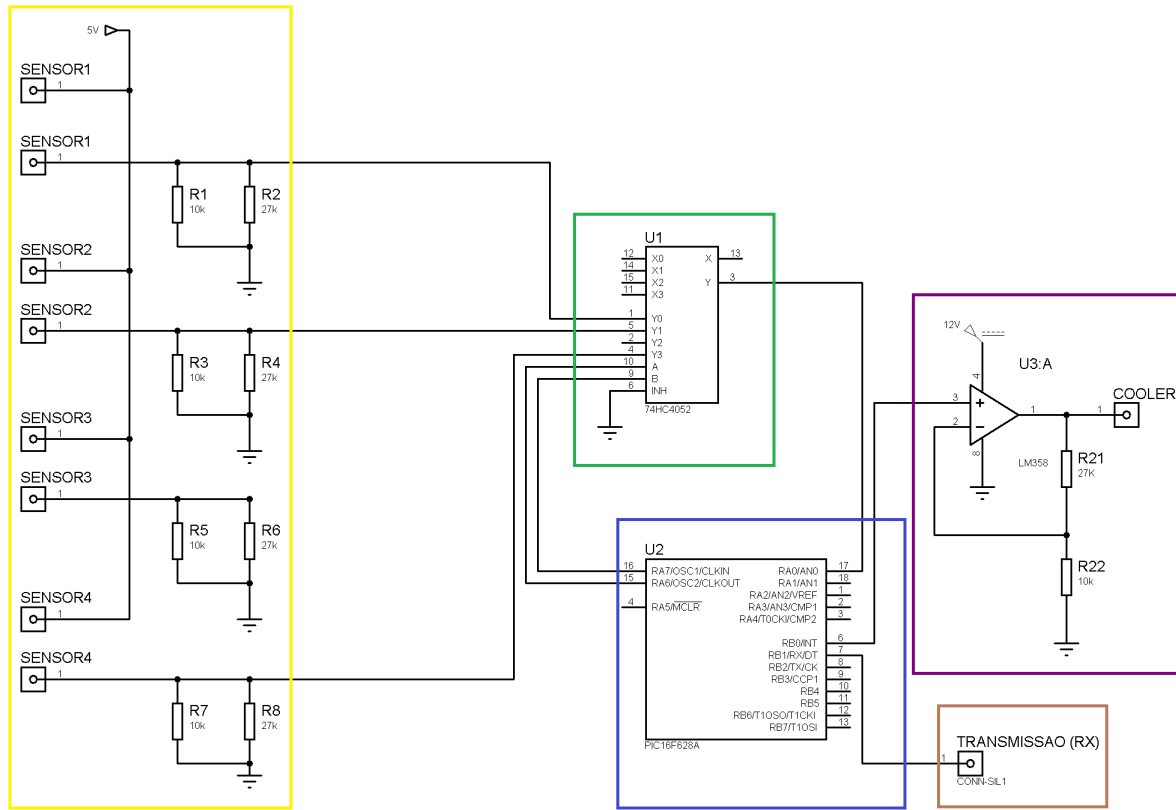


Figura 28 – Diagrama esquemático do circuito acionamento do resfriamento. A área delimitada pela linha amarela corresponde aos sensores de temperatura utilizados para o acionamento; a área em azul, ao microcontrolador PIC16F628A; em verde, encontra-se o multiplexador; em marrom, está o módulo de transmissão serial; em laranja, o módulo de acionamento do relé; e por fim, em violeta, encontra-se o módulo de acionamento dos *coolers*.

Fonte: Autoria própria utilizando o software *Proteus*

De maneira geral, o funcionamento deste circuito se dá da seguinte forma: as saídas dos módulos de temperatura são multiplexadas através do HEF4052, identificado na Figura 28. A leitura de cada sensor depende dos valores de seleção, conforme indicado na seção de caracterização do multiplexador. A saída do multiplexador está conectada ao pino 17 do PIC16F628A.

O PIC16F628A habilita uma saída, destinada ao acionamento do *cooler*; e outra saída, reservada para a transmissão de dados, por meio da comunicação serial.

Após a implementação do esquemático do circuito e dos testes realizados em *proto-board*, verificou-se que o funcionamento ocorreu conforme o esperado: quando a temperatura excede 120°C, o cooler é acionado e o resfriamento da placa se inicia atingindo-se

temperatura de 30°C, o cooler é desligado.

Já o diagrama esquemático do sistema de monitoramento das temperaturas está apresentado na Figura 29.

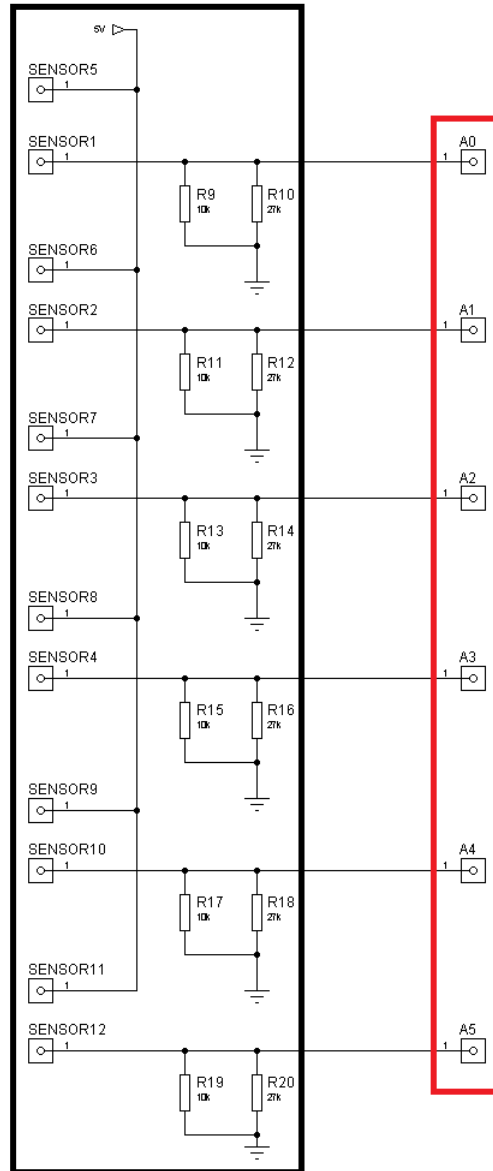


Figura 29 – Diagrama esquemático do circuito de monitoramento das temperaturas. A área delimitada pela linha preta corresponde aos sensores de temperatura utilizados para o monitoramento; a área em vermelho representam as entradas analógicas do Arduino, responsáveis por receber as tensões relativas à cada temperatura.

Fonte: Autoria própria utilizando o software *Proteus*.

Desta forma, optou-se pelo desenvolvimento do circuito soldado na placa de fenolite para aumentar a robustez do sistema e diminuir as interferências causadas pelo ambiente. O *layout* da placa foi confeccionado utilizando a ferramenta ARES do software *Proteus*.

4.3 Resultados Experimentais

Nesta seção serão mostrados todos os resultados obtidos através do experimento de bancada, onde uma placa de aço foi colocada na estrutura produzida. Feito isso, utilizando-se um ferro de passar roupas esta foi aquecida até 120°C , ativando automaticamente um sistema de resfriamento por cooler que desvia um fluxo de vapor d'água para a placa aquecida que foi resfriada até a temperatura ambiente (aproximadamente 30°C). Atingida esta temperatura, o cooler é desativado automaticamente, onde o O PLX-DAQ (*Parallax Data Acquisition Tool*) organiza os dados obtidos pelos sensores dentro de uma planilha do *Excel* em intervalos de 1 segundo, gerando ainda gráficos para análise individual de cada um dos sensores. Foram feitos, para questão de comparação, aferições do resfriamento sem nenhuma fonte de resfriamento; uma apenas com o vento proveniente do cooler; uma com o vaporizador fornecendo um fluxo de massa de $0,01\text{ mL/s}$ e outra com o vaporizador fornecendo um fluxo de massa de $0,1\text{ mL/s}$.

4.3.1 Levantamento da relação Tensão x Temperatura

Foi realizado o levantamento da curva que relaciona temperatura e tensão dos sensores de temperatura NTC 3950, na configuração indicada pela Figura 13.

A curva Tensão x Temperatura aparece na Figura 30.

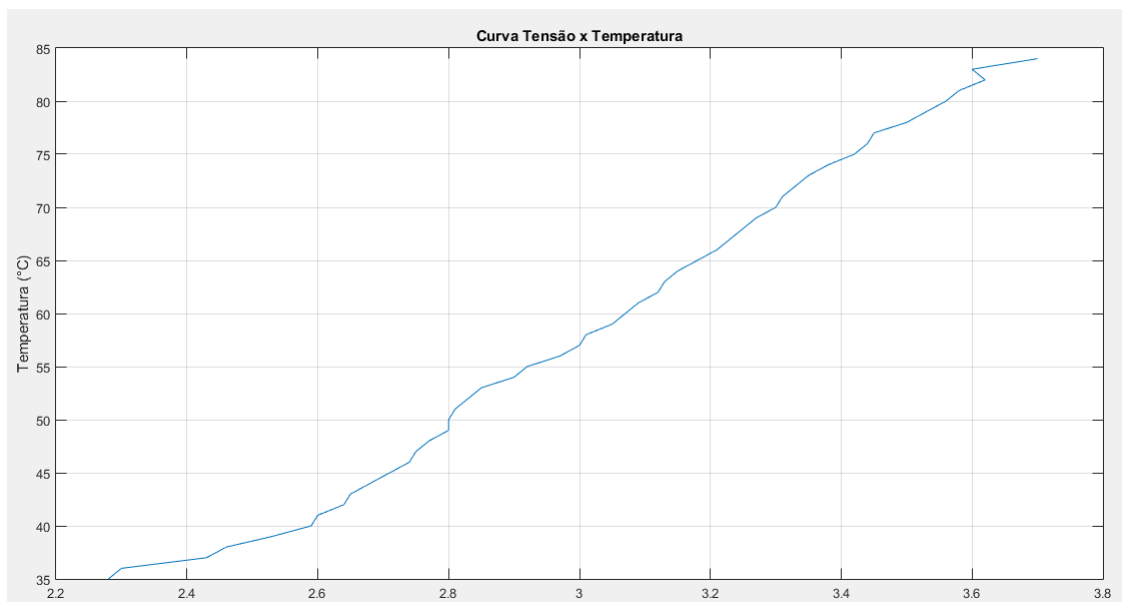


Figura 30 – Curva característica do sensor de temperatura NTC 3950 de $100\text{k}\Omega$. Os testes foram realizados com temperaturas entre 35°C a 84°C . Esta curva indica que a tensão identificada pelo divisor da Figura 13 aumenta proporcionalmente à temperatura.

Fonte: Autoria própria utilizando o software *Matlab*

Como explicado anteriormente, em um sensor NTC, a curva que relaciona temperatura e resistência tem coeficiente negativo. Porém, como tensão e resistência são inversamente proporcionais, a curva da Figura 30 apresenta um coeficiente positivo, ou seja, a tensão aumenta com o aumento de temperatura. Estas informações estão de acordo com as pesquisas realizadas na literatura.

4.3.2 Resfriamento Sem Sistema de Arrefecimento

Neste primeiro experimento realizado, a placa foi aquecida até a temperatura de 120°C, porém nenhum sistema de arrefecimento foi utilizado deixando-se a placa resfriar apenas com o contato direto com a temperatura ambiente, até que este entrasse em equilíbrio térmico.

Com o auxílio de uma rotina desenvolvida no software *Microsoft Excel*, observou-se que o tempo para que a placa resfriasse de 120°C para aproximadamente 30°C foi de aproximadamente 6 minutos e 30 segundos. A Figura 31 mostra um gráfico demonstrando o comportamento da temperatura em cada um dos sensores.

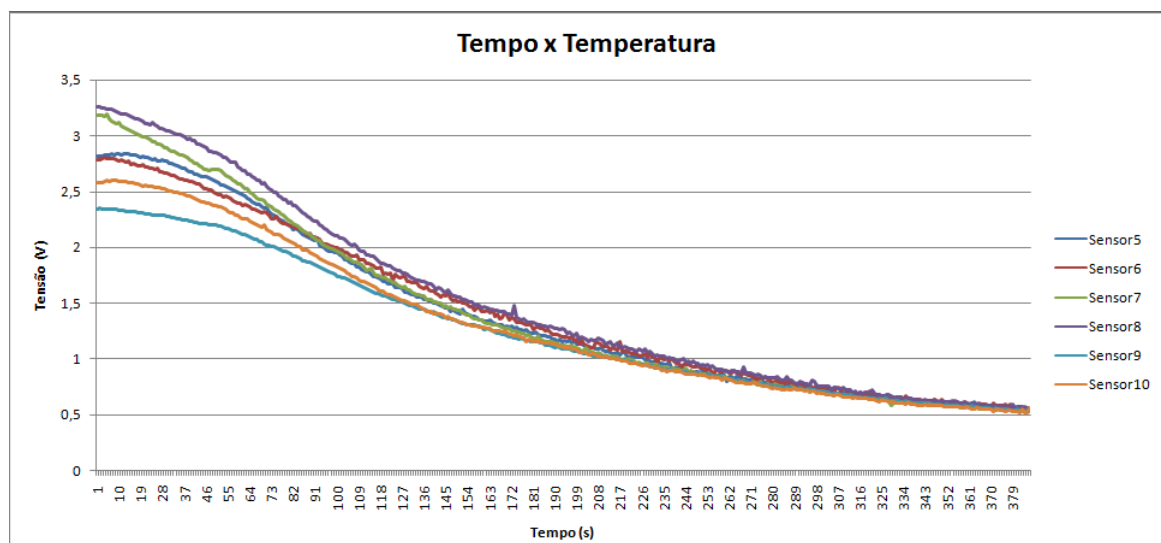


Figura 31 – Demonstração do gráfico com as temperaturas observadas em cada um dos sensores.

Fonte: Autoria própria utilizando o software *Microsoft Excel*

Como pode-se observar, os sensores 9 e 10, posicionados no centro da placa, são os que apresentam os menores valores de temperatura no início do resfriamento. Isso demonstra que esta região da placa teve uma maior dificuldade na propagação da temperatura, se comparada com as outras regiões. A Tabela 4.3.2 demonstra os primeiros dez segundos de resfriamento em uma planilha do Excel, com os valores de tensão que corresponde a cada uma das temperaturas verificadas nos sensores.

Tempo (s)	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7	Sensor 8	Sensor 9	Sensor 10
1	2,81V	2,73V	3,00V	3,14V	2,31V	2,56V
2	2,82V	2,74V	2,99V	3,13V	2,31V	2,56V
3	2,81V	2,71V	2,98V	3,11V	2,3V	2,56V
4	2,81V	2,71V	2,97V	3,11V	2,3V	2,56V
5	2,81V	2,7V	2,96V	3,1V	2,3V	2,56V
6	2,79V	2,7V	2,94V	3,12V	2,29V	2,56V
7	2,8V	2,69V	2,94V	3,1V	2,29V	2,54V
8	2,77V	2,7V	2,92V	3,09V	2,29V	2,54V
9	2,78V	2,67V	2,92V	3,07V	2,28V	2,53V
10	2,78V	2,67V	2,91V	3,07V	2,28V	2,52V

Tabela 4 – Tabela com os valores de tensão correspondentes a temperatura observado em cada um dos sensores no modelo sem sistema de arrefecimento.

A tabela demonstrada na Figura 4.3.2, apresenta que no momento do início do arrefecimento o sensor 8 apresentava uma tensão de 3,26 V, sendo utilizado o sensor 2 para o acionamento do cooler pois este encontra-se posicionado ao lado dele. A partir desse resultado encontrado para o sensor 8, podemos afirmar que para esse caso de arrefecimento o calor foi distribuído com maior intensidade no canto inferior direito da placa.

Com o passar do tempo, todos os sensores vão entrando em equilíbrio com o meio externo, chegando em um limiar em que praticamente não observa-se alteração de temperatura entre eles.

Esse resultado confere com o obtido e demonstrado na simulação realizada no ANSYS/Fluent averiguando que no centro da placa a temperatura será menor do que nas bordas, demonstrando que no início do processo de resfriamento realmente será observado um perfil radial de temperatura a partir do centro da placa, onde a temperatura aumenta ao distanciar-se do centro.

4.3.3 Resfriamento Utilizando apenas vento do Cooler

Neste segundo experimento realizado, a placa foi aquecida até a temperatura de 120°C, feito isso, utilizou-se como sistema de arrefecimento apenas o vento produzido pelo cooler. O sistema foi ativado e desligado automaticamente, a partir das pré definições anunciadas anteriormente.

Utilizou-se novamente a rotina desenvolvida no software *Microsoft Excel*, onde observou-se que o tempo para que a placa resfriasse de 120°C para aproximadamente 30°C foi de aproximadamente 5 minutos e 38 segundos. A Figura 32 mostra um gráfico demonstrando o comportamento da temperatura em cada um dos sensores para esta forma de resfriamento.

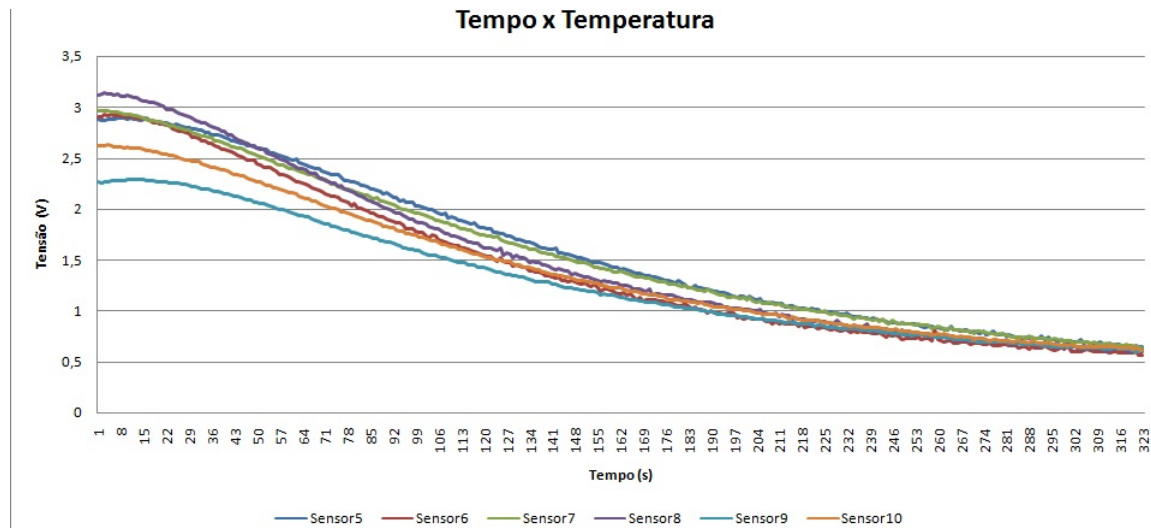


Figura 32 – Demonstração do gráfico com as temperaturas observadas em cada um dos sensores para o arrefecimento somente com o vento do Cooler

Fonte: Autoria própria utilizando o software *Microsoft Excel*

Como esperava-se a partir das simulações, os sensores 9 e 10, posicionados no centro da placa, são os que apresentam os menores valores de temperatura no início do resfriamento. A Figura 4.3.3 mostra a tabela de resultados de tensão que representam os valores de temperatura em cada um dos sensores.

Tempo (s)	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7	Sensor 8	Sensor 9	Sensor 10
1	2,84V	2,86V	2,85V	3,03V	2,27V	2,56V
2	2,85V	2,84V	2,85V	3,02V	2,27V	2,55V
3	2,84V	2,84V	2,84V	3,01V	2,27V	2,54V
4	2,84V	2,82V	2,83V	2,98V	2,27V	2,54V
5	2,83V	2,82V	2,81V	2,98V	2,26V	2,52V
6	2,82V	2,79V	2,82V	2,97V	2,26V	2,52V
7	2,83V	2,78V	2,8V	2,95V	2,25V	2,51V
8	2,82V	2,77V	2,79V	2,94V	2,25V	2,5V
9	2,81V	2,76V	2,78V	2,93V	2,24V	2,49V
10	2,8V	2,75V	2,77V	2,91V	2,24V	2,48V

Tabela 5 – Tabela com os valores de tensão correspondentes a temperatura observado em cada um dos sensores no modelo com apenas vento como forma de arrefecimento..

A tabela demonstrada na Figura 4.3.3, apresenta que no momento do início do arrefecimento o sensor 8 apresentava uma tensão de 3,12 V, sendo utilizado o sensor 4 para o acionamento do cooler pois este encontra-se posicionado ao lado dele. Como o sensor 8 encontra-se com o maior valor de temperatura, pode-se afirmar que o calor distribuiu-se

com maior intensidade no canto inferior esquerdo da placa se comparado com os outros pontos. Com o passar do tempo, todos os sensores vão entrando em equilíbrio com o meio externo, chegando em um limiar em que praticamente não observa-se alteração de temperatura entre eles.

4.3.4 Resfriamento com Vaporizador - Fluxo de Massa de 0,01 mL/s

Esta seção refere-se a primeira onde de fato utilizou-se a tecnologia do resfriamento por spray multifásico como tecnologia de resfriamento, onde no compartimento destinado para tal, foi ligado um vaporizador confinando vapor d'água em ambiente separado.

A placa foi aquecida até a temperatura de 120°C com o uso do ferro de passar roupas, onde assim que os sensores captaram essa temperatura, o cooler foi acionado retirando o ar com vapor d'água gerado pelo vaporizador direcionando-o diretamente para a placa aquecida. A rotina desenvolvida no software *Microsoft Excel*, observou que o tempo para que a placa resfriasse de 120°C para aproximadamente 30°C foi de aproximadamente 5 minutos e 20 segundos. A Figura 33 mostra um gráfico demonstrando o comportamento da temperatura em cada um dos sensores para este resfriamento.

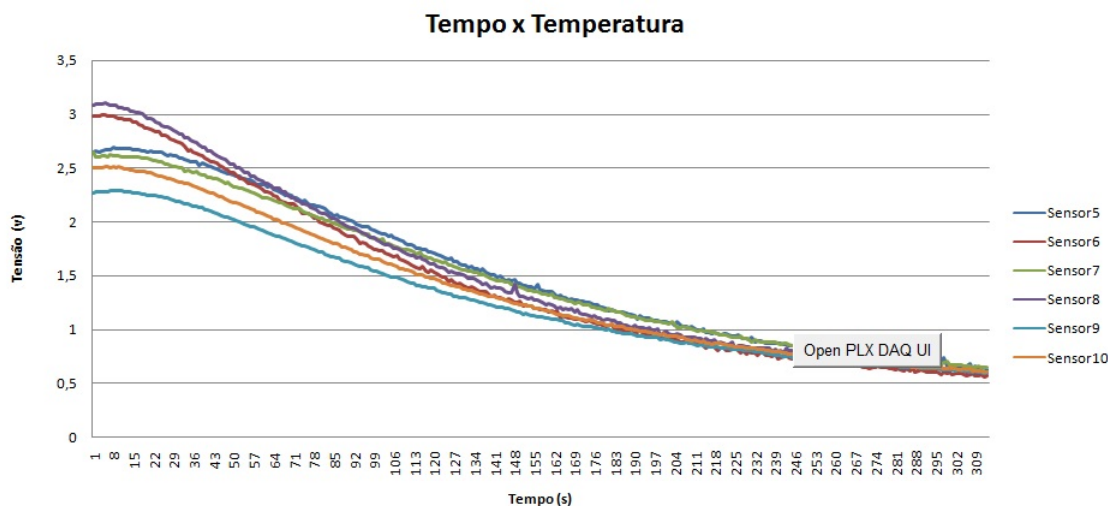


Figura 33 – Demonstração do gráfico com as temperaturas observadas em cada um dos sensores

Fonte: Autoria própria utilizando o software *Microsoft Excel*

Assim que atingiu-se 30°C, o cooler foi automaticamente desligado, cortando-se a vazão de vapor d'água. Analisando-se o gráfico gerado e a tabela fornecida na Figura 4.3.4, temos que os sensores 9 e 10, posicionados no centro da placa, são os que apresentam os menores valores de temperatura no início do resfriamento.

Tempo (s)	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7	Sensor 8	Sensor 9	Sensor 10
1	2,66V	2,87V	2,59V	2,99V	2,26V	2,46V
2	2,65V	2,87V	2,59V	2,97V	2,25V	2,45V
3	2,66V	2,86V	2,58V	2,96V	2,25V	2,45V
4	2,65V	2,84V	2,57V	2,95V	2,24V	2,44V
5	2,64V	2,83V	2,57V	2,93V	2,24V	2,43V
6	2,64V	2,83V	2,56V	2,92V	2,23V	2,42V
7	2,64V	2,8V	2,56V	2,9V	2,23V	2,42V
8	2,62V	2,8V	2,54V	2,89V	2,22V	2,41V
9	2,61V	2,79V	2,54V	2,89V	2,22V	2,4V
10	2,62V	2,77V	2,53V	2,87V	2,21V	2,4V

Tabela 6 – Tabela com os valores de tensão correspondentes a temperatura observado em cada um dos sensores - fluxo de massa 0,01 mL/s.

Esse resultado está de acordo com a simulação realizada no ANSYS/Fluent demonstrando que no centro da placa a temperatura será menor do que nas bordas, onde de fato no início do processo de resfriamento será observado um perfil radial de temperatura a partir do centro da placa, sendo que a temperatura aumenta ao distanciar-se do centro.

A tabela demonstrada na Figura 4.3.4, apresenta que no momento do início do arrefecimento o sensor 8 apresentava uma tensão de 3,09 V, sendo utilizado o sensor 4 para o acionamento do cooler pois este encontra-se posicionado ao lado dele. A partir da análise do valor encontrado para o sensor 8, podemos afirmar que o canto inferior direito encontra-se com uma temperatura superior as demais regiões da placa. Com o passar do tempo, todos os sensores vão entrando em equilíbrio com o meio externo, chegando em um limiar em que praticamente não observa-se alteração de temperatura entre eles, fato que pode ser observado no gráfico da Figura 33.

4.3.5 Resfriamento com Vaporizador - Fluxo de Massa de 0,1 mL/s

Neste último experimento realizado, pretendia-se observar a influência do fluxo de massa no resfriamento de superfícies metálicas por spray multifásico. Para isso, repetiu-se exatamente o mesmo procedimento adotado na seção 4.3.4, porém alterou-se o fluxo de massa do vaporizador para 0,1 mL/s. A mudança do fluxo de massa foi realizada diretamente no vaporizador por ajuste.

O tempo observado para resfriamento da placa metálica de 120°C para aproximadamente 30°C foi de aproximadamente 4 minutos e 43 segundos. A Figura 34 mostra um gráfico demonstrando o comportamento da temperatura em cada um dos sensores para o arrefecimento com o fluxo de 0,1 mL/s.

A tabela demonstrada na Figura 4.3.5 demonstra uma tabela com os valores de

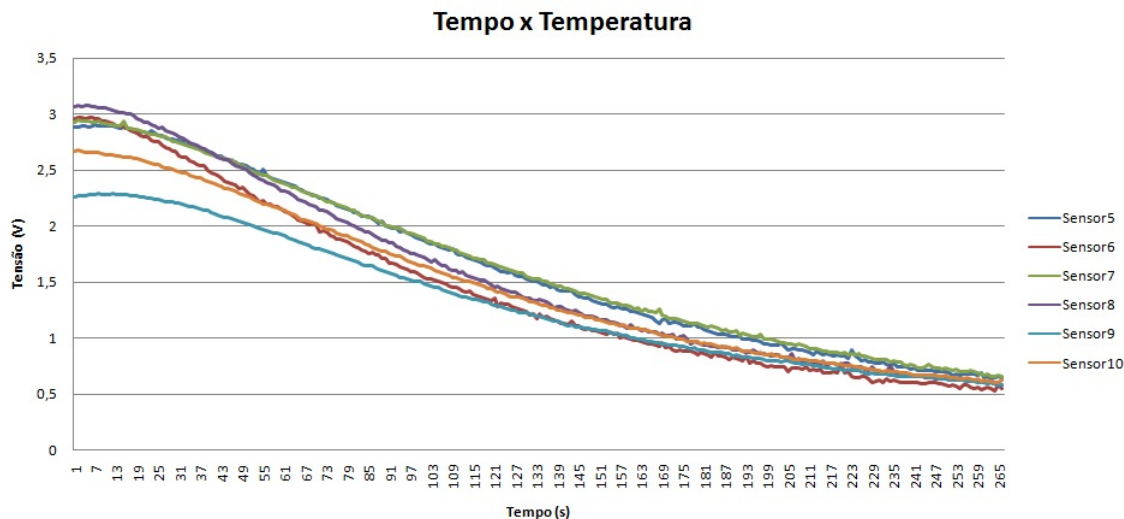


Figura 34 – Demonstração do gráfico com as temperaturas observadas em cada um dos sensores

Fonte: Autoria própria utilizando o software *Microsoft Excel*

tensão correspondentes a temperatura de cada um dos sensores fixados na placa.

Observa-se que no momento do início do arrefecimento o sensor 8 apresentava uma tensão de 2,98 V, sendo utilizado o sensor 4 para o acionamento do cooler pois este encontra-se posicionado ao lado dele.

Com o passar do tempo, todos os sensores vão entrando em equilíbrio com o meio externo, chegando em um limiar em que praticamente não observa-se alteração de temperatura entre eles. Este comportamento pode ser visualizado como demonstrado no gráfico da figura 34.

Tempo (s)	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7	Sensor 8	Sensor 9	Sensor 10
1	2,85V	2,83V	2,86V	2,96V	2,27V	2,6V
2	2,84V	2,81V	2,85V	2,95V	2,26V	2,59V
3	2,84V	2,8V	2,84V	2,93V	2,26V	2,58V
4	2,83V	2,8V	2,83V	2,93V	2,25V	2,57V
5	2,85V	2,77V	2,82V	2,91V	2,25V	2,56V
6	2,82V	2,75V	2,82V	2,9V	2,24V	2,55V
7	2,8V	2,75V	2,81V	2,88	2,24V	2,55V
8	2,8V	2,72V	2,8V	2,89	2,23V	2,53V
9	2,78V	2,7V	2,8V	2,85	2,22V	2,52V
10	2,77V	2,69V	2,78V	2,84	2,21V	2,52V

Tabela 7 – Tabela com os valores de tensão correspondentes a temperatura observado em cada um dos sensores - fluxo de massa 0,1 mL/s.

Comparando-se o tempo necessário para o arrefecimento na seção 4.3.4 e o da seção 4.3.5, temos uma melhoria de cerca de 12% na eficiência do resfriamento com o aumento do fluxo de massa de 0,01 mL/s para 0,1 mL/s (1000% de aumento no fluxo de massa).

Considerando-se o máximo fluxo de massa admitido pelo vaporizador, 0,1 mL/s regularmente utilizado como padrão, temos uma melhoria de 17% na eficiência do arrefecimento comparado ao resfriamento utilizando-se apenas o vento do cooler e uma melhoria de 28% comparado ao arrefecimento sem qualquer tipo de sistema de arrefecimento.

Na seção 4.3.6, demonstra-se a rotina desenvolvida para demonstrar qual sensores foi utilizado para acionar o cooler quando um dos sensores identificou a temperatura pré definida para o acionamento.

4.3.6 Transmissão Serial

Foi desenvolvida uma rotina no PIC16F628A bastante importante que possibilita a comunicação serial entre o sistema de acionamento e qualquer dispositivo que utilize o protocolo RS232.

Para esta aplicação é necessário apenas o protocolo de transmissão, visto que o objetivo da comunicação é informar qual dos sensores identificou o aumento excessivo de temperatura. Este tipo de função é importante para o monitoramento do aquecimento da placa; identificar as zonas mais suscetíveis ao aquecimento; e, consequentemente, auxiliar no estudo do resfriamento.

O módulo conversor CP2102 foi empregado para comunicação entre o computador e o microcontrolador PIC16F628A, por meio da USB. O software *AccessPort* foi utilizado para interpretação de caracteres enviados pelo sistema de segurança, de acordo com a tabela ASCII de conversão.

De acordo com a Figura 35, é possível observar que, quando o monitor serial do *AccessPort* identifica os números 1, 2, 3 e 4, quer dizer que os sensor T1, T2, T3 e T4 detectaram temperatura superior a 120°C, respectivamente. A disposição dos sensores pode ser visualizada na Figura 18.

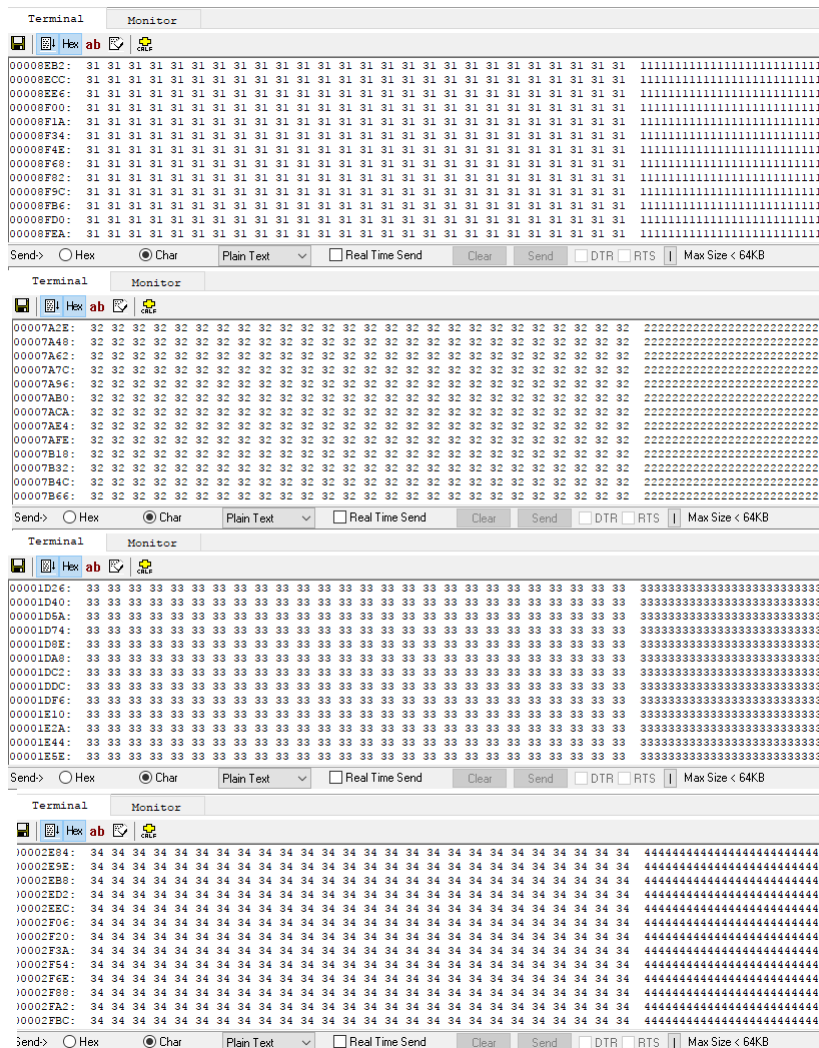


Figura 35 – Monitor serial do software utilizado para visualizar a transmissão de dados. Do lado direito, é possível observar os dados enviados no formato hexadecimal, conforme é indicado no código. Do lado esquerdo, encontra-se o carácter referente à tabela ASCII.

Fonte: Autoria própria utilizando o software *AccessPort*.

5 Conclusão

O presente trabalho abordou o estudo teórico/experimental do resfriamento de superfícies metálicas aquecidas com o uso de spray multifásicos, ou seja, spray cooling, com o objetivo de verificar a sua futura aplicação na indústria aeroespacial por meio da verificação para um sistema em escala reduzida.

A revisão bibliográfica e o estudo efetuado na literatura disponível sobre o tema mostrou que são poucos os trabalhos que estudam o spray cooling. Outro ponto observado foi a escassez de modelos que reproduzam os fenômenos físicos do resfriamento por spray, e que sejam independentes de parâmetros de ajustes. O projeto das seções de refrigeração utilizadas com o intuito de resfriar superfícies metálicas previamente aquecidas é um trabalho muito extenso. Toda a analogia e embasamento teórico, envolve a realização de medições laboratoriais, modelagem numérica, cálculos matemáticos, dentre outros tipos de análise. Inicialmente, o primeiro passo é a busca do melhor regime de refrigeração para o aço, após isso deve-se obter uma seleção de meios técnicos para garantir a obtenção das taxas de resfriamento prescritas.

A bancada experimental desenvolvida foi qualificada, apresentando bastante rigidez para suportar pequenos impactos envolvendo a realização dos testes e para suportar as temperaturas a que foi submetida a partir do contato do ferro com a placa de aço. Nenhuma alteração proveniente de correntes laterais de ar foi observada devido a instalação das chapas de acrílico e o cooler realizou bem o papel dos injetores na simulação do arrefecimento por spray multifásico gerando todo o perfil cônico de arrefecimento esperado na teoria onde com o ajuste devido este consegue selecionar a região onde irá ocorrer o arrefecimento.

Toda a parte de desenvolvimento dos softwares realizada se mostrou bem sucedida, onde os códigos desenvolvidos na linguagem Assembly no software *Arduíno* funcionaram perfeitamente com os 4 sensores instalados para realizar a atividade de acionamento do Cooler e do monitoramento do comportamento da temperatura nos 6 sensores destinados para isso. Da mesma forma, o código implementado no *Microsoft Excel* com o auxílio do *PLX-DAQ (ParallaxData Acquisition Tool)*, funcionou como esperado gerando todos os gráficos de temperatura e uma tabela com todos os valores de tensão correspondendo a temperatura para cada um dos sensores instalados na placa, onde estes eram atualizados conforme ocorria o resfriamento em um intervalo de tempo pré definido de 1 segundo.

Os componentes eletrônicos envolvidos na realização da parte experimental, que inicialmente foram um verdadeiro desafio para que todos fossem integrados corretamente com todos os softwares e instalados na estrutura de bancada desenvolvida, porém toda

essa parte foi qualificada anteriormente sendo instalada cuidadosamente e por módulos. Nenhuma interferência foi observada durante a instalação dos componentes e todos os fios necessários foram isolados termicamente.

A partir da análise dos resultados obtidos, pode-se afirmar que um spray de água é mais eficiente como fluido de refrigeração do que somente ar, isto pode ser concluído pela diminuição significativa observada no tempo do resfriamento considerando-se as situações analisadas na seção [4.3](#).

Referências

ALBERTAZZI, G. A. *More Math Into LaTeX*. 4th. ed. Boston: Birkhauser, 2007. Citado 3 vezes nas páginas 86, 87 e 89.

ALVAREZ, J.; ALVAREZ, J.; HERNÁNDEZ, M. A population balance approach for the description of particle size distribution in suspension polymerization reactors. *Chemical Engineering Science*, Elsevier, v. 49, n. 1, p. 99–113, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 64.

AMON, C. H. et al. Microelectromechanical system-based evaporative thermal management of high heat flux electronics. *Journal of Heat Transfer*, American Society of Mechanical Engineers, v. 127, n. 1, p. 66–75, 2015. Citado na página 35.

BARELA, A. M. F.; DUARTE, M. Utilização da plataforma de força para aquisição de dados cinéticos durante a marcha humana. *Brazilian Journal of Motor Behavior*, v. 6, n. 1, 2011. Citado na página 44.

BERGMAN, T. L. et al. *Fundamentals of heat and mass transfer*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011. Citado 3 vezes nas páginas 35, 38 e 39.

BERNARDIN, J. D.; STEBBINS, C. J.; MUDAWAR, I. Mapping of impact and heat transfer regimes of water drops impinging on a polished surface. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Citeseer, v. 40, n. 2, p. 247–267, 2017. Citado na página 37.

BLÖMER, F. Aquisição e transmissão de dados através da porta serial para controle de sistemas de automação. *REPOSITÓRIO DE RELATÓRIOS-Sistemas de Informação*, n. 2, 2014. Citado na página 46.

BOCARD¹, M. G.; TRIBOLI, E. P. D. R. Avaliação de propriedades tecnológicas de iogurte em pó obtido por secagem em spray dryer. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 37.

BRANDOLIM, R. et al. *Sistema embarcado de ultra-som com doppler pulsado: desenvolvimento das interfaces*. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 46.

COSTA, J. Eficiência de diferentes encapsulantes e condições operacionais de secagem por atomização na produção e aplicação de micropartículas de bioaroma de queijo suíço. *Universidade Federal de Lavras*, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 88.

DAVID, R. P. Desenvolvimento de software emulador de terminal de vídeo compatível com pc de baixo custo. 2010. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 46.

DEEN, N. G.; SOLBERG, T.; HJERTAGER, B. H. Large eddy simulation of the gas–liquid flow in a square cross-sectioned bubble column. *Chemical engineering science*, Elsevier, v. 56, n. 21-22, p. 6341–6349, 2001. Citado na página 37.

DINIZ, P. S.; SILVA, E. A. da; NETTO, S. L. *Processamento Digital de Sinais:- Projeto e Análise de Sistemas*. [S.l.]: Bookman Editora, 2014. Citado na página 44.

DOEBELIN, G. A. *More Math Into LaTeX*. 4th. ed. Boston: Birkhauser, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 88 e 90.

ELETRONICS, T. Start here with pic16f628a. 2017. Acessado em: 22-11-2018. Citado na página 42.

FERNANDES, T. G.; PANAZIO, A. N. Do analógico ao digital: amostragem, quantização e codificação. *II Simpósio de Iniciação Científica da Universidade Federal do ABC-SIC-UFABC*, 2009. Citado na página 44.

FOROUZAN, B. A. *Comunicação de dados e redes de computadores*. [S.l.]: AMGH Editora, 2009. Citado na página 45.

GUZZO, M. E. Metodologias para análise e caracterização dos sprays de um injetor de injeção direta de gasolina. UFMG, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.

ISSA, R. J. Multiphase spray cooling technology in industry. In: *Advanced Technologies*. [S.l.]: InTech, 2009. Citado na página 32.

JÚNIOR, L. F. C. Sistema de aquisição e gerenciamento de dados sobre acidentes de trânsito através do uso da tecnologia de geoprocessamento. 2004. Citado na página 46.

JUNIOR, M. O.; DUARTE, R. d. O. Apostila sobre introdução ao projeto com microcontroladores e programação de periféricos. *Departamento de Engenharia Eletrônica–Escola de Engenharia–Universidade Federal de Minas Gerais*, 2011. Citado na página 45.

KAMRA, M. M. et al. Numerical and experimental investigation of three-dimensionality in the dam-break flow against a vertical wall. *Journal of Hydrodynamics*, Springer, v. 30, n. 4, p. 682–693, 2018. Citado na página 27.

LIMA, A. L. d. et al. Desenvolvimento de um sistema para aquisição e processamento de sinais utilizando a plataforma tivawaretm para aplicações em smart grid. Universidade Federal da Paraíba, 2015. Citado na página 44.

MALISKA, C. R. *Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional*. [S.l.]: Grupo Gen-LTC, 2017. Citado na página 41.

MARQUES, G. A. *More Math Into LaTeX*. 4th. ed. Boston: Birkhauser, 2018. Citado na página 87.

MICROCHIP. Section 19. voltage reference. Citado na página 55.

MICROCHIP. Microchip microchip technology inc. 2017. Acessado em: 12-11-2018. Citado na página 41.

MICROCHIP. Pic16f627a/628a/648a data sheet. 2017. Acessado em: 12-11-2018. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 43.

NEWELL, D. B. et al. The codata 2017 values of h, e, k, and na for the revision of the si. *Metrologia*, IOP Publishing, v. 55, n. 1, p. L13, 2018. Citado na página 85.

OSHIMA, T. *Design calculation method of air-cooled heat exchangers with water spray*. [S.l.: s.n.], 2012. Citado na página 33.

- PHILIPIS. Hef4052b msi dual 4-channel analogue multiplexer/demultiplexer data sheet. 1995. Acessado em: 07-09-2018. Citado na página 53.
- POUSO, M. T. P. Sistema de automação e controle de um sistema de irrigação. 2012. Citado na página 44.
- PRINTGREEN3D. Sensor de corriente efecto hall acs712 20a. 2018. Acessado em: 23-01-2018. Citado na página 50.
- RICARDO, E. F.; SOUZA, F. N. de. *Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo Curso de Engenharia Elétrica/Eletrônica*. Tese (Doutorado) — Universidade do Vale do Paraíba, 2014. Citado na página 46.
- RODRIGUEZ, C. *Introduction to Cooling Systems*. 2th. ed. Boston: Birkhauser, 2017. Citado 3 vezes nas páginas 31, 36 e 89.
- SACHDEV, J. et al. Analysis of flame deflector spray nozzles in rocket engine test stands. In: *46th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 6972. Citado na página 29.
- SANTOS, D. Sensor de corriente efecto hall acs712 20a. 2015. Acessado em: 23-01-2018. Citado na página 44.
- SANTOS, V. E. L. dos et al. Análise de qualidade de voz de chamadas voip para diferentes codecs em links terrestre e satélite. 2014. Citado 2 vezes nas páginas 44 e 45.
- SCHMITZ-SCHUG, I.; FOERST, P.; KULOZIK, U. Impact of the spray drying conditions and residence time distribution on lysine loss in spray dried infant formula. *Dairy Science & Technology*, Springer, v. 93, n. 4-5, p. 443–462, 2013. Citado na página 85.
- SCHWARZKOPF, J. D. et al. *Multiphase flows with droplets and particles*. [S.l.]: CRC press, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 40.
- SOUSA, A. C. C. d. et al. Comunicação de dados e protocolos em robôs modulares auto-reconfiguráveis. 2016. Citado na página 45.
- SOUZA, F. Arduino: Rs-232/rs-485 - hardware. 2015. Citado na página 47.
- TREE, D. et al. Effect of water sprays on heat transfer of a fin and tube heat exchanger. In: *Proceedings of Sixth International Heat Transfer Conference*. [S.l.: s.n.], 2008. v. 4. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 34.
- WALCZYK, H. Enhancement of heat transfer from air-fin coolers with water spray. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, Elsevier, v. 32, n. 2, p. 131–138, 2013. Citado na página 32.
- WARKENTIN, D. D.; ROWLEY, M. V. *Methods of and systems for treating incinerated waste*. [S.l.]: Google Patents, 2017. US Patent 9,566,587. Citado na página 27.
- YANG, W.-J.; CLARK, D. Spray cooling of air-cooled compact heat exchangers. Elsevier, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

Anexos

ANEXO A – FUNDAMENTOS DA METROLOGIA CIENTÍFICA

A metrologia científica pode ser definida como a ciência da medição. Por meio da metrologia é possível qualificar e quantificar testes, experimentos, fenômenos ou substância, com o intuito de atribuir um valor a tal. Através de um sistema de unidades e variáveis físicas a grandeza é capaz de determinar o que está sendo medido.

• Métodos de medição

Medir é o procedimento experimental pelo qual o valor momentâneo de uma grandeza física (mensurando) é determinado como um múltiplo e/ou uma fração de uma unidade, estabelecida por um padrão e reconhecida internacionalmente ([NEWELL et al., 2018](#)).

Para entender sobre os métodos de medição, antes é importante conhecer alguns conceitos. A grandeza física é o que está sendo medido, deve ser representada de acordo com uma unidade pré-estabelecida e recebe o nome de mesurando. Instrumento de medição ou sistema de medição é o meio utilizado para realizar as medições, podendo ser apenas um ou uma combinação.

O método de medição é a sequência de operações adotada para realizar a medição requerida, ou seja, a base utilizada para realizar qualquer tipo de medição. Já os procedimentos de medição são o conjunto de operações realizadas para determinada medição, seguindo um método pré-estabelecido.

Os dois principais métodos de medição são o de comparação ou zeragem, e de indicação ou deflexão. Uma combinação desses dois métodos também pode ser utilizada e é conhecido como método diferencial.

Segundo ([SCHMITZ-SCHUG; FOERST; KULOZIK, 2013](#)), o método da comparação determina o valor do mensurando comparando-o com um artefato cujo valor de referência é muito bem conhecido. Nesse caso, para realização da medição é importante possuir antes um dispositivo padrão, que possui grandeza equivalente ao do mesurando, chamado de medida materializada, que será usado como referência para a medição. O mensurando e a medida materializada devem indicar diferença zero quando medidos por um instrumento de medição, ou seja, a medida materializada indica o resultado de medição esperado para o mensurando.



Figura 36 – Medição por Comparação ([ALBERTAZZI, 2007](#))

Os sistemas de medição que utilizam o método da indicação são construídos de forma a tornar perceptível para o usuário um efeito proporcional ao valor do mensurando ([ALBERTAZZI, 2007](#)). Ou seja, através da resposta emitida pelo sistema de medição o usuário é capaz de determinar a grandeza requerida.

O método de medição diferencial pode ser entendido como uma certa combinação dos métodos da indicação e da comparação. O mensurando é comparado a uma medida materializada, cujo valor é próximo ao do mensurando, e a diferença entre ambos é medida por um instrumento que opera pelo método da indicação.

Na medição diferencial normalmente o valor da grandeza padrão é muito próximo do mensurando de forma que a faixa de medição do instrumento que opera por indicação pode ser muito pequena. Como consequência, seu erro máximo pode vir a ser muito reduzido sem que seu custo se eleve. Na figura 37 podemos ver um exemplo de medição diferencial, a calibração de uma peça padrão, onde é indicada a diferença entre a peça a ser calibrada e um padrão já calibrado.

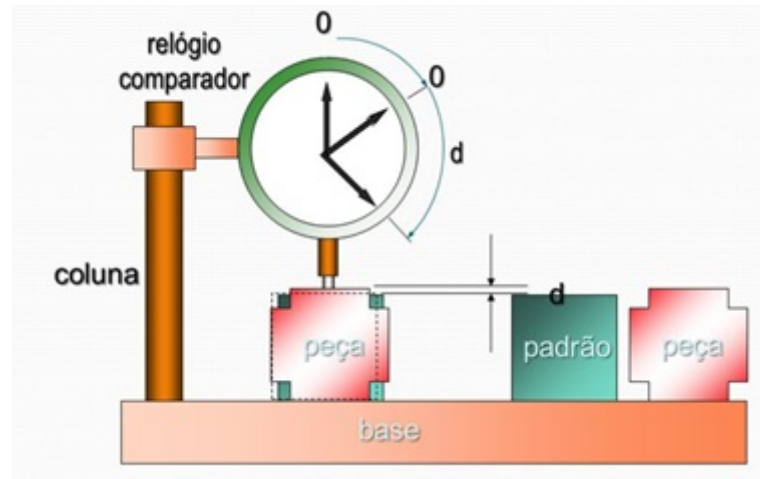


Figura 37 – Medição Diferencial (ALBERTAZZI, 2007)

A seleção do método de medição a ser utilizado depende de vários parâmetros, como custo, velocidade de medição, confiabilidade de medição, entre outros. A 38 mostra um comparativo entre os métodos de medição, feito por (MARQUES, 2018).

Característica	Comparação	Indicação	Diferencial
Velocidade de medição	Muito lento	Muito rápido	Rápido
Possibilidade de medição computadorizada	Muito difícil	Muito fácil	Muito fácil
Incerteza e sua instabilidade com o tempo	Muito estável	Instável	Estável
Custo	Elevado	Moderado a elevado	Moderado

Figura 38 – Comparação entre os métodos de medição

- **Princípios de medição de dados**

A maior parte dos sistemas de medição que se aplicam ao método da indicação possuem três módulos funcionais, que são o transdutor ou sensor, a unidade de tratamento do sinal e o dispositivo mostrador. Todos os três sistemas funcionam integrados ao sistema de medição e de forma independente ou não entre si. A figura 39 mostra um esquema dos módulos funcionais de um sistema de medição.



Figura 39 – Módulos Funcionais de um sistema de medição (COSTA, 2013))

Transdutores são dispositivos, normalmente elétricos ou eletrônicos, que converte uma forma de energia em outra, para efeitos de medição e transferência de informação. Sensores são um tipo de transdutores, que também podem ser atuadores. Os transdutores, dependendo da situação, podem ou não ter como componente um sensor. No sistema de medição o transdutor fica em contato com o mensurando e envia dados de medição para a unidade de tratamento de sinal. Um exemplo de transdutor é o termopar, ilustrado na figura 40.



Figura 40 – Termopar (COSTA, 2013)

De acordo com (DOEBELIN, 2012), o sinal gerado pelo transdutor normalmente é um sinal de baixa energia, difícil de ser diretamente indicado. A unidade de tratamento do sinal tem por principal função amplificar a potência do sinal de medição. Em alguns sistemas de medição mais sofisticados, a unidade de tratamento do sinal pode assumir

funções de filtragem, compensação, integração, processamento, etc. Depois de tratado o sinal, a unidade envia para o dispositivo mostrador.

Dentro do sistema de medição pelo método da indicação, o último módulo é o dispositivo mostrador, que já recebe o sinal de medição tratado e o transforma em uma grandeza que será mostrada ao usuário, uma indicação direta. O dispositivo mostrador pode ser do tipo analógico ou digital, dependendo de sua aplicação, sendo que os analógicos apresentam a medição através de um ponteiro e os digitais através de dígitos gerados eletronicamente. A figura 41 ilustra um exemplo de dispositivo mostrador.



Figura 41 – Dispositivo Mostrador (RODRIGUEZ, 2017)

O dispositivo mostrador representa o último módulo do sistema da medição, apresentando ao usuário o resultado de medição final. Após recebidos todos os resultados de medição é realizado um processamento e análise de dados, muito aplicado ao campo da engenharia.

Idealmente, a indicação apresentada por um sistema de medição deve corresponder ao valor verdadeiro do mensurando. Infelizmente não é isso o que sempre acontece. As imperfeições do sistema de medição, as limitações do operador e as influências das condições ambientais são exemplos de fatores que induzem erros de medição (ALBERTAZZI, 2007).

O erro de medição é um parâmetro muito importante e indispensável em qualquer método de medição. Por mais confiável e seguro que seja o método de medição e por mais habilidoso que seja operador, o erro de medição estará sempre presente. Desde que sejam entendidas as causas do erro, ele pode funcionar com um aliado ao projeto, pois fornece uma margem de erro à medição realizada.

No campo da engenharia tornou-se comum o uso de computadores e outros dispositivos para o tratamento dos dados obtidos com os métodos de medição, afim de possibilitar

uma melhor análise e uso dos resultados obtidos.

Em soluções de problemas de engenharia, dois métodos gerais estão disponíveis: teórico e experimental. Muitos problemas requerem a aplicação de ambos os métodos. A quantidade relativa de cada depende da natureza do problema. Problemas no limite do conhecimento geralmente requerem extensivos estudos experimentais, uma vez que teorias adequadas ainda não estão disponíveis ([DOEBELIN, 2012](#)). Portanto a teoria e o experimento devem ser pensados como complementares um ao outro, e o engenheiro que tiver essa atitude será um mais efetivo solucionador de problema do que os que rejeitam uma dessas duas abordagens.

ANEXO B – PROGRAMAÇÃO NA PLATAFORMA ARDUINO

```
//Variáveis que definem as portas de entrada.
float potpin = 0;
float potpin1 = 1;
float potpin2 = 2;
float potpin3 = 3;
float potpin4 = 4;
float potpin5 = 5;

//Variável que se refere as linhas do Excel
int ROW = 0;
int LABEL = 1;

//Variável que guarda o valor lido
float Sensor1 = 0;
float Sensor2 = 0;
float Sensor3 = 0;
float Sensor4 = 0;
float Sensor5 = 0;
float Sensor6 = 0;

void setup()
Serial.begin(9600); //Inicialização da comunicação serial
Serial.println("CLEARDATA"); //Reset da comunicação serial
Serial.println("LABEL,Time,Sensor1,Sensor2,Sensor3,Sensor4,Sensor5,Sensor6,ROW");
// Nomeia as colunas

void loop()
```

```
//Faz a leitura dos valores e guarda o valor em cada variável
Sensor1 = (analogRead(potpin)/1023.0)*5.0;
Sensor2 = (analogRead(potpin1)/1023.0)*5.0;
Sensor3 = (analogRead(potpin2)/1023.0)*5.0;
Sensor4 = (analogRead(potpin3)/1023.0)*5.0;
Sensor5 = (analogRead(potpin4)/1023.0)*5.0;
Sensor6 = (analogRead(potpin5)/1023.0)*5.0;
ROW++; //Incrementa a linha do Excel para que a leitura pule de linha em linha

//Inicia a impressão de dados
Serial.print("DATA,TIME,");
Serial.print(Sensor1);
Serial.print(",");
Serial.print(Sensor2);
Serial.print(",");
Serial.print(Sensor3);
Serial.print(",");
Serial.print(Sensor4);
Serial.print(",");
Serial.print(Sensor5);
Serial.print(",");
Serial.print(Sensor6);
Serial.print(",");
Serial.println(ROW);

if (ROW > 10) //Laço para limitar a quantidade de dados
ROW = 0;
Serial.println("ROW,SET,2"); //Alimentação das linhas com os dados
delay(1000); //Espera 1 segundo e reinicia o loop
```

ANEXO C – PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR PIC16F628A

```

;----- Arquivos incluídos no projeto -----
#include <P16F628A.INC> ;Inclui o arquivo do PIC

;----- Paginação de memória -----
#define BANK0 BCF STATUS, RP0 ;Cria um mnemônico para banco 0
#define BANK1 BSF STATUS, RP0 ;Cria um mnemônico para banco 1

;----- Vetor de reset -----
ORG 0x00 ;Origem no endereço 0000h de memória
GOTO INICIO ;Desvia do vetor de interrupção

;----- Vetor de interrupção -----
;(CASO HAJA UMA INTERRUPÇÃO ACIDENTAL)
ORG H'0004' ;Todas as interrupções apontam para este endereço
RETFIE ;Retorna da interrupção

;----- Entradas -----
#define ENT_AN PORTA, RA0

;----- Saídas -----
#define LED7 PORTB, RB6
#define LED6 PORTB, RB4
#define LED5 PORTB, RB5
#define LED4 PORTB, RB7
#define S0 PORTA, RA6
#define S1 PORTA, RA7
#define RELE PORTB, RB3
#define COOLERS PORTB, RB0

;----- Definição de variáveis -----
CBLOCK 0X20

```

CONT

TEMP

TEMP2

MINUTO

SEGUNDO

SAIDA

SINALIZADOR

SINALIZADOR1

SINALIZADOR2

ENDC

ROTINAS

;—————- Configurações —————

CONF:

BANK1 ;Seleciona o banco 1 de memória

MOVLW B'00001111' ;W=B'0000 1111'

MOVWF TRISA ;TRISA = R0 a R3 são entradas e R4 a R7 são saídas

MOVLW B'00000000' ;w = B'0000 0000'

MOVWF TRISB ;TRISB = todas as portas são saídas

MOVLW B'00000101' ;W= B'0000 0101

MOVWF OPTION_REG ;Habilita os pull-up internos, desabilita as interrupções nas bordas de subida dos regs., TIMER0 dividindo o clock em 64

MOVLW B'00000000' ;W = B'0000 0000'

MOVWF INTCON ;Interrupção desabilitada

MOVLW 0xA6 ;enable VREF

MOVWF VRCON

BANK0 ;Seleciona o banco 0 de memória

MOVLW 0X02 ;Define a configuração de comparador (101)

MOVWF CMCON

CALL DELAY_10MS

;—————- Registradores da Serial —————

BANK0 ;Seleciona o banco 0

MOVLW B'11011000' ;Máscara de recepção

MOVWF RCSTA ;Máscara inserida no registrador de recepção

BANK1 ;Seleciona o banco 1

MOVLW B'00100100' ;Máscara de transmissão

MOVWF TXSTA ;Habilita transmissão assíncrona, seta BRGH

MOVLW 0x19 ;0X19 = 9600BPS(0X0C=19200BPS)

MOVWF SPBRG ;Configura o Baud Rate

RETURN

;————— Delay de 10ms —————

DELAY_10MS:

MOVLW .10

MOVWF TEMP2

DECFSZ TEMP2,F

GOTO \$-1

RETURN

;————— Delay de 1s —————

DELAY_1S:

BANK0

MOVLW .250

MOVWF MINUTO

MOVLW .250

MOVWF SEGUNDO

DECFSZ SEGUNDO,F

GOTO \$-1

MOVLW .250

MOVWF SEGUNDO

DECFSZ MINUTO,F

GOTO \$-5

MOVLW .250

MOVWF MINUTO

DECFSZ TEMP,F;

GOTO \$-4

RETURN

;————— Conversor AD - Entrada Analógica —————

CONVERSOR_ADC:

MOVLW 0XA0

MOVWF CONT

SAIDA_DIGITAL:

MOVF CONT,W

BANK1

MOVWF VRCON

BANK0

CALL DELAY_10MS

BTFSS CMCON,C1OUT

GOTO BUSCA

MOVF CONT,W

RETURN

GOTO CONVERSOR_ADC

BUSCA:

INCF CONT,F

MOVLW 0XB0

XORWF CONT,W

BTFSS STATUS,Z

GOTO SAIDA_DIGITAL

GOTO CONVERSOR_ADC

RETURN

;————— Comunicação Serial —————

TRANSMISSAO:

BANK0

MOVWF TXREG

BTFSC PIR1, TXIF

GOTO \$-2

BCF PIR1, TXIF

RETURN

;————— Saida para os 4 LEDs —————

;Pode ser usado no multiplexador

MAX_SIG_PORTB:

MOVWF SAIDA

SWAPF SAIDA,F

BSF LED4

BTFSS SAIDA,4

BCF LED4

BSF LED5

BTFSS SAIDA,5

BCF LED5

BSF LED6

BTFSS SAIDA,6

BCF LED6

BSF LED7

BTFSS SAIDA,7

BCF LED7

RETURN

;————— Varredura dos sensores —————

LER_ADC:

CALL CONVERSOR_ADC

CALL MAX_SIG_PORTB

MOVWF CONT

RETURN

ACIONAMENTO_T1:

BCF S0

BCF S1

CALL LER_ADC

MOVLW 0XAF

SUBWF CONT,F

BTFSS STATUS,C

GOTO OFF1

BSF COOLERS

BSF SINALIZADOR,0

GOTO DESACIONAMENTO_T1

RETURN

DESACIONAMENTO_T1:

MOVLW 0X31

CALL TRANSMISSAO

CALL LER_ADC

MOVLW 0XA3

SUBWF CONT,F

BTFSS STATUS,C

GOTO OFF1

GOTO DESACIONAMENTO_T1

OFF1:

BCF SINALIZADOR,0 RETURN

ACIONAMENTO_T2:

BCF S0

BSF S1

```
CALL LER_ADC
MOVLW 0XAF
SUBWF CONT,F
BTFSS STATUS,C
GOTO OFF2
BSF COOLERS
BSF SINALIZADOR1,0
GOTO DESACIONAMENTO_T2
RETURN
```

```
DESACIONAMENTO_T2:
```

```
    MOVLW 0X32
    CALL TRANSMISSAO
    CALL LER_ADC
    MOVLW 0XA3
    SUBWF CONT,F
    BTFSS STATUS,C
    GOTO OFF2
    GOTO DESACIONAMENTO_T2
```

```
OFF2:
```

```
    BCF SINALIZADOR1,0
    RETURN
```

```
ACIONAMENTO_T3:
```

```
    BSF S0
    BCF S1
    CALL LER_ADC
    MOVLW 0XAF
    SUBWF CONT,F
    BTFSS STATUS,C
```

```
GOTO OFF3  
BSF COOLERS  
BSF SINALIZADOR2,0  
GOTO DESACIONAMENTO_T3  
RETURN
```

```
DESACIONAMENTO_T3:  
    MOVLW 0X33  
    CALL TRANSMISSAO  
    CALL LER_ADC  
    MOVLW 0XA3  
    SUBWF CONT,F  
    BTFSS STATUS,C  
    GOTO OFF3  
    GOTO DESACIONAMENTO_T3
```

```
OFF3:  
    BCF SINALIZADOR2,0  
    RETURN
```

```
ACIONAMENTO_T4:  
    BSF S0  
    BSF S1  
    CALL LER_ADC  
    MOVLW 0XAF  
    SUBWF CONT,F  
    BTFSS STATUS,C  
    GOTO OFF4  
    BSF COOLERS  
    BSF SINALIZADOR3,0  
    GOTO DESACIONAMENTO_T4
```

RETURN

DESACIONAMENTO_T4:

MOVLW 0X34

CALL TRANSMISSAO

CALL LER_ADC

MOVLW 0XA3

SUBWF CONT,F

BTFSS STATUS,C

GOTO OFF4

GOTO DESACIONAMENTO_T4

OFF4:

BCF SINALIZADOR3,0

RETURN

ROTINA PRINCIPAL

INICIO:

CALL CONF

BCF SINALIZADOR,0

BCF SINALIZADOR1,0

BCF SINALIZADOR2,0

BCF SINALIZADOR3,0

BCF COOLERS

BANK0

L:

CALL ACIONAMENTO_T1

CALL ACIONAMENTO_T2

CALL ACIONAMENTO_T3

CALL ACIONAMENTO_T4

S:

BTFSS SINALIZADOR,0

GOTO S_1

GOTO L

S_1:

BTFSS SINALIZADOR1,0

GOTO S_2

GOTO L

S_2:

BTFSS SINALIZADOR2,0

GOTO S_3

GOTO L

S_3:

BTFSS SINALIZADOR3,0

BCF COOLERS

GOTO L

;----- Fim do programa -----

END